

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**FAKULTA STAVEBNÍ**



Disertační práce

**Analýza vzduchové neprůzvučnosti konstrukcí**  
**Analysis of airborne sound insulation of partitions**

<b>Autor:</b>	<b>Ing. Pavel Oravec</b>
<b>Školitel:</b>	<b>Ing. Iveta Skotnicová, Ph.D.</b>
<b>Datum:</b>	<b>08/2011</b>
<b>Studijní obor:</b>	<b>3607V025 Teorie konstrukcí</b>
<b>Školící pracoviště:</b>	<b>Katedra pozemního stavitelství 225</b>

Název: Analýza vzduchové neprůzvučnosti konstrukcí  
Autor: Pavel Oravec, Ing.  
Místo, rok, vydání: Ostrava, 2011, 1. vydání  
Počet stran: 137  
Vydala: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava  
Katedra: Pozemního stavitelství 225  
Tisk: VŠB-TU Ostrava  
Náklad: 5 ks  
ISBN: 978-80-248-2539-7

## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD A PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU PROBLEMATIKY.....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>CÍL A OBSAH DISERTAČNÍ PRÁCE .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>METODY ŘEŠENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE .....</b>	<b>10</b>
3.1	VOLBA VHODNÉHO OBJEKTU PRO EXPERIMENT.....	10
3.1.1	<i>Popis vybraných dělicích konstrukcí v objektu.....</i>	<i>11</i>
3.2	ZÍSKÁVÁNÍ ZKUŠENOSTÍ .....	13
3.3	PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ, POSTUP A VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ .....	14
3.4	TEORETICKÝ ROZBOR .....	15
3.4.1	<i>Definice.....</i>	<i>15</i>
3.4.2	<i>Zvuk šířený vzduchem [5] .....</i>	<i>15</i>
3.4.3	<i>Požadavky na neprůzvučnost – vážená stavební neprůzvučnost [5] .....</i>	<i>18</i>
3.4.4	<i>Neprůzvučnost jednoduché stěny [5] .....</i>	<i>20</i>
3.4.5	<i>Výpočet neprůzvučnosti jednoduché stěny technickou metodou [5] .....</i>	<i>24</i>
3.4.6	<i>Výpočet neprůzvučnosti jednoduché stěny provozní metodou [2].....</i>	<i>25</i>
3.4.7	<i>Výpočet neprůzvučnosti jednoduché stěny podle modelu dle [15].....</i>	<i>27</i>
<b>4</b>	<b>VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE .....</b>	<b>30</b>
4.1	VYHODNOCENÍ VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI V ŘEŠENÉM SKELETU.....	31
4.1.1	<i>Komentář k vyhodnocení vzduchové neprůzvučnosti dělicích stěn Porotherm 11,5 AKU mezi učebnami (Tabulka 3) .....</i>	<i>32</i>
4.1.2	<i>Komentář k vyhodnocení vzduchové neprůzvučnosti dělicích stěn Porotherm 11,5 P+D mezi kancelářemi (Tabulka 4) .....</i>	<i>32</i>
4.2	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ V PŮDORYSECH.....	33
4.3	AKUSTICKÉ VLASTNOSTI DLE VÝROBCE .....	36
4.3.1	<i>Akustické vlastnosti tvárnice Porotherm 11,5 AKU .....</i>	<i>36</i>
4.3.2	<i>Akustické vlastnosti tvárnice Porotherm 11,5 P+D.....</i>	<i>37</i>
4.4	TEORETICKÉ POSOUZENÍ .....	38
4.4.1	<i>Vzduchová neprůzvučnost stěny z tvárnic Porotherm 11,5 AKU dle Wattersovy (technické) metody – ruční výpočet .....</i>	<i>39</i>
4.4.2	<i>Akustické parametry stěny z tvárnic Porotherm 11,5 AKU dle Wattersovy (technické) metody – program Neprůzvučnost .....</i>	<i>41</i>
4.4.3	<i>Akustické parametry stěny z tvárnic Porotherm 11,5 P+D dle Wattersovy (technické) metody – ruční výpočet .....</i>	<i>43</i>
4.4.4	<i>Akustické parametry stěny z tvárnic Porotherm 11,5 P+D dle Wattersovy (technické) metody – program Neprůzvučnost .....</i>	<i>45</i>
4.4.5	<i>Vzduchová neprůzvučnost stěny z tvárnic Porotherm 11,5 AKU dle provozní metody.....</i>	<i>47</i>
4.4.6	<i>Vzduchová neprůzvučnost stěny z tvárnic Porotherm 11,5 P+D dle provozní metody .....</i>	<i>48</i>
4.4.7	<i>Vzduchová neprůzvučnost stěny z tvárnic Porotherm 11,5 AKU dle modelu uvedeného v [15]....</i>	<i>49</i>
4.4.8	<i>Vzduchová neprůzvučnost stěny z tvárnic Porotherm 11,5 P+D dle modelu uvedeného v [15] ....</i>	<i>53</i>
4.5	PŘÍKLAD ŘEŠENÍ PRO ZLEPŠENÍ AKUSTICKÝCH VLASTNOSTÍ STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE .....	57
4.5.1	<i>Návrh zlepšení nevyhovující konstrukce .....</i>	<i>57</i>
4.5.2	<i>Posouzení návrhu zlepšení nevyhovující konstrukce v programu Neprůzvučnost .....</i>	<i>57</i>
4.6	PŘÍČINY DIFERENCÍ MEZI NÁVRHEM A SKUTEČNOSTÍ .....	59
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>AUTORSKÉ PUBLIKACE .....</b>	<b>64</b>
<b>8</b>	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>68</b>
8.1	VÝSLEDKY MĚŘENÍ VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI MEZI UČEBNAMI .....	68
8.1.1	<i>Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 201-202 .....</i>	<i>68</i>
8.1.2	<i>Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 202-203 .....</i>	<i>70</i>
8.1.3	<i>Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 203-204 .....</i>	<i>72</i>
8.1.4	<i>Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 205-204 .....</i>	<i>74</i>

8.1.5	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lpi 301-302 .....	76
8.1.6	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lpi 303-302 .....	78
8.1.7	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lpi 304-303 .....	80
8.1.8	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lpi 305-304 .....	82
8.1.9	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lpi 401-402 .....	84
8.1.10	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lpi 402-403.....	86
8.1.11	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lpi 403-404.....	88
8.1.12	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lpi 405-404.....	90
8.1.13	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lpi 501-502.....	92
8.1.14	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lpi 503-502.....	94
8.1.15	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lpi 505-504.....	96
8.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI MEZI KANCELÁŘEMI .....	98
8.2.1	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 302-301 .....	98
8.2.2	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 304-305/1.....	100
8.2.3	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 305/2-305/1.....	102
8.2.4	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 305/2-305/3.....	104
8.2.5	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 306/1-305/3.....	106
8.2.6	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 306/2-306/1.....	108
8.2.7	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 306/2-306/3.....	110
8.2.8	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 307/1-306/3.....	112
8.2.9	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 307/2-307/1.....	114
8.2.10	Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 307/2-307/3 .....	116
8.3	POMOCNÉ VÝPOČTY .....	118
8.3.1	Fasáda – parapetní část .....	118
8.3.2	Podlaha .....	119
8.3.3	Strop .....	120
8.3.4	Stěna 11,5 AKU v rámu skeletu .....	121
8.3.5	Stěna 11,5 P+D v rámu skeletu.....	123
8.4	METODIKA MĚŘENÍ VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI SE ZAŘÍZENÍM BRÜEL & KJÆR .....	125
8.4.1	Rozmístění přístrojů.....	125
8.4.2	Zapojení přístrojů .....	126
8.4.3	Ovládání a nastavení analyzátoru 2260 pro měření vzduchové neprůzvučnosti .....	127
8.4.4	Kalibrace.....	131
8.4.5	Měření L1 .....	132
8.4.6	Měření B2 .....	133
8.4.7	Měření L2 .....	134
8.4.8	Měření T2 .....	135
9	OSOBNÍ PROFIL .....	136

## Abstrakt

Disertační práce je zaměřena na analýzu vzduchové neprůzvučnosti jednoduchých konstrukcí z hlediska srovnání a vyhodnocení teoretických výpočetních modelů a experimentálního měření in-situ.

Disertační práce je rozdělena do čtyř stěžejních částí.

V první části byl proveden experiment spočívající v měření vzduchové neprůzvučnosti značného množství vybraných jednoduchých zděných dělicích konstrukcí ve vícepodlažní administrativní budově postavené na bázi betonového skeletu. Na základě předchozích zkušeností a příslušných normových postupů byla v rámci práce z průběhu měření sestavena podrobná metodika měření vzduchové neprůzvučnosti.

Další oblast byla věnována pečlivému vyhodnocení parametrů získaných z měření. Ze získaných dat vyplynulo stanovení kmitočtového průběhu neprůzvučnosti pro jednotlivé konstrukce a byly stanoveny vážené stavební neprůzvučnosti posuzovaných konstrukcí.

Značná část práce se věnuje podrobnému popisu dostupných výpočetních metod použitelných pro predikci stanovení vzduchové neprůzvučnosti na základě známých vstupních parametrů. Měřené případy jsou podrobeny výpočtu čtyřmi různými postupy. Výsledky výpočtů jsou vzájemně porovnány s naměřenými hodnotami.

Experiment v rámci disertační práce dokázal, že vzduchová neprůzvučnost dělicích konstrukcí ve stavbách kolem nás často nedosahuje požadovaných parametrů. Stížnosti uživatelů staveb jsou mnohdy oprávněné. Proto byly definovány nejčastější možné příčiny podílející se na vzniku takového jevu. Dále je popsána úprava konstrukce, jejíž správnou aplikací dojde ke splnění požadavků kladených na zvukovou izolaci včetně predikce výsledné hodnoty  $R'w$ .

Pro zlepšení stávající situace jsou v závěru navržena opatření směřující ke zvýšení jakosti v oblasti vzduchové neprůzvučnosti stavebních konstrukcí.

Klíčová slova:

Vzduchová neprůzvučnost, akustika stavebních konstrukcí

## Abstract

This dissertation focuses on the analysis of sound insulation of simple constructions in terms of comparison and evaluation of theoretical computational models and experimental measurements in-situ.

The dissertation is divided into four key parts.

In the first part an experiment was performed, based on measurements of airborne sound insulation of a large amount of the simple masonry separating walls in a multi-storey office building constructed on the basis of a concrete skeleton. Based on the previous experience, relevant standard procedures and the measurements during this work, a detailed methodology for measurement of airborne sound insulation was compiled.

The next part was devoted to a careful evaluation of the parameters obtained from the measurements. The evaluation showed the determination of the transmission loss frequency for each construction and the weighted building sound insulation of the considered buildings were determined.

Much of the work deals with a detailed description of the available computational methods applicable to the prediction of an airborne sound insulation based on the known input parameters. The measured cases are subjected to four different calculation procedures. The calculation results are compared with the measured values.

The experiment in this dissertation quietly proved that the sound insulation of the separating structures in the buildings around us often does not reach the required parameters. Complaints of users of buildings are often justified. Therefore the most common possible causes involved in the formation of such a phenomenon were defined. In the following part a modification of the structure is described. Its proper application meets the requirements for the sound insulation, including the prediction of the final  $R_w$  value.

To improve the current situation, the precautions aimed at increasing the quality of airborne sound insulation of building structures are proposed in the conclusion.

Keywords:

Airborne sound insulation, acoustics of building structures

## 1 ÚVOD A PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU PROBLEMATIKY

Akustika bývá ve stavebnictví často přehlížena a podceňována nejen ve fázi přípravy staveb, ale i během realizace. Nejde pouze o kvalitu a jakost poslechu, ale především o tiché, cizími hluky nerušené prostředí uvnitř budov, ve kterém lidé pobývají. Podle studie společnosti WHO (World Health Organization) moderní lidé stráví v uměle vytvořeném prostředí uvnitř budov až 90 % času.

Stavební konstrukce jako příčky, stropy, obvodové stěny a střechy ohraničují a vzájemně oddělují jednotlivé prostory v interiéru i exteriéru budovy. Na uvedené konstrukce je kladena řada požadavků, mezi které patří i požadavek z oblasti stavební akustiky. Vlastnosti stavební konstrukce (např. mezi sousedními místnostmi) vyjadřujeme vzduchovou neprůzvučností. Vzduchová neprůzvučnost je vlastnost stavební konstrukce projevující se ztrátou akustického výkonu zvuku při přenosu vzduchem prostřednictvím konstrukce [2]. Vzduchová neprůzvučnost mezi místnostmi v budovách bytových a občanského vybavení musí vyhovovat minimálním požadovaným hodnotám na zvukovou izolaci dělicích konstrukcí budov [11]. Na hluk, který se přenáší do chráněného prostoru, se pohlíží jako na cizí hluk. Vzduchovou neprůzvučnost dělicích konstrukcí definujeme jako vlastnost stavební konstrukce, která je schopna izolovat dvě sousední místnosti z hlediska zvuku přenášejícího se vzduchem. Čím je hodnota vzduchové neprůzvučnosti vyšší, tím lepší je izolační schopnost konstrukce.

Akustika vnitřního prostředí staveb je ovlivňována zejména akustickými vlastnostmi stavebních konstrukcí - vzduchovou neprůzvučností  $R'w$  (dB) a kročejovou neprůzvučností  $L'_{nw}$  (dB). Autor řešil ve většině případů in-situ právě kvalitu odhlučnění stěn nebo stropů obklopujících chráněné prostory [67].

Podle zkušeností z měření na stavbách [34], [46], [56], [62], [66] je zřejmé, že velké množství zabudovaných konstrukcí nesplňuje požadavky z hlediska vzduchové neprůzvučnosti.

Jednou z příčin se jeví nedostatečná vzdělanost či nepozornost projektantů. Velmi často dochází k záměnám výrobcem udávaných laboratorních hodnot vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$  s hodnotami stavebními  $R'w$ , které jsou vždy nižší, neboť zohledňují boční cesty šíření zvuku zabudovaného prvku.

Další příčinou může být vysoká nedokonalost výpočtových metod, kterými jsou konstrukce při návrhu posuzovány v rámci projekční přípravy. Dostupnými výpočtovými metodami nelze uspokojivě podchytit všechny boční cesty šíření zvuku, které mají na výslednou neprůzvučnost zásadní vliv. Limity predikčních metod spočívají rovněž ve vstupních parametrech výpočtů. Jedná se zejména o nedostatečnou dostupnost materiálových charakteristik moderních stavebních materiálů používaných pro stěny a příčky.

Třetí příčinou podílející se významně na zhoršení přenosu hluku skrz dělicí konstrukce je způsob provedení dělicího prvku na stavbě. Často dochází k neodbornému vedení instalací přímo v dělicích stěnách, které jsou těmito zásahy akusticky oslabeny. Nejvýrazněji se na zhoršení podílí nejen trubní (proudící) vedení, ale i kabelové průchody v chráničkách.

Problémy bývají u skeletů, kde snaha o maximální vylehčení výplňových příček vede někdy k podcenění zvukové izolace.

V rámci řešení disertační práce byla vybrána k posouzení akustických vlastností dělicích konstrukcí budova skeletu. Jedním z důvodů výběru právě této stavby byly opakované stížnosti, které uživatelé vznášeli směrem k nedostatečné zvukově izolační schopnosti dělicích prvků.



*Obrázek 1 - Pohled na měřený objekt.*



*Obrázek 2 - Objekt na ul. Ludvíka Podéště 1875.*



## 2 CÍL A OBSAH DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem disertační práce bylo provedení analýzy vzduchové neprůzvučnosti jednoduchých konstrukcí z hlediska srovnání a vyhodnocení teoretických výpočetních modelů a experimentálního měření in-situ.

Cíle práce lze shrnout do následujících bodů:

- 1 Experimentální zjištění a vyhodnocení vzduchové neprůzvučnosti vybraných svislých dělicích konstrukcí v budově skeletu.
- 2 Predikce stanovení hodnoty vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$  metodou technickou - ruční výpočet.
- 3 Predikce stanovení hodnoty vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$  metodou technickou - za pomoci softwaru Neprůzvučnost.
- 4 Predikce stanovení hodnoty vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$  metodou provozní.
- 5 Predikce stanovení hodnoty vzduchové neprůzvučnosti  $R'_w$  výpočetním modelem podle EN 12354-1 [15].
- 6 Příklad zlepšení neprůzvučnosti konstrukce - predikce.
- 7 Stanovení příčin diferencí mezi predikcí a naměřenými parametry in-situ. Vyhodnocení vlivu bočních cest šíření zvuku v monolitickém skeletu na stavební váženou neprůzvučnost jednoduché dělicí konstrukce.
- 8 Sestavení názorné metodiky pro praktické měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi v budovách.

### 3 METODY ŘEŠENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Pro řešení cíle 1 disertační práce byl zvolen **deskriptivní přístup** založený na **empirickém rozboru** již existujících a uskutečněných systémů, aby bylo ukázáno, jak to ve skutečnosti je. Metodou je tedy **empirický výzkum**. Byl proveden **experiment**, při kterém byly vystaveny zkoumané prvky působení specifických předem stanovených podmínek (vstupních veličin) a byl vyhodnocen jejich vliv na výstupy a chování systému.

Pro řešení cílů 2-6 disertační práce se jevil z **logických metod** jako nejvhodnější proces **konkretizace**. Byl vyhledán konkrétní výskyt určitého objektu z určité třídy objektů a na něj byly aplikovány charakteristiky platné pro tuto třídu objektů.

Na závěr byla provedena **indukce**, tedy proces vyvozování obecného závěru na základě poznatků o jednotlivostech. Indukce zajišťuje přechod od jednotlivých soudů k obecným. Induktivní závěr lze považovat za hypotézu, protože nabízí vysvětlení, i když těchto vysvětlení může být v praxi více. Závěry induktivních a myšlenkových pochodů jsou vždy ovlivněny subjektivními postoji (zkušenostmi a znalostmi), a mají proto omezenou platnost.



Obrázek 3 - Instalace zdroje zvuku do vysílací místnosti.



Obrázek 4 - Instalace mikrofónu do vysílací místnosti.

#### 3.1 Volba vhodného objektu pro experiment

Pro experimentální ověření vzduchové neprůzvučnosti dělicích konstrukcí se jevil jako nejvhodnější rozsáhlý objekt na ulici Ludvíka Podéště 1875 v Ostravě-Porubě (Obrázek 1, Obrázek 2). Šestipodlažní budova se členěním na dvě křídla je konstrukčně řešena jako železobetonový skelet s vyzdívkami z dutinových tvárnic Porotherm. Zvolená stavba ukázkově reprezentuje soudobé pojetí přístupu ke stavebním materiálům, technologiím a aplikacím v rámci hospodárného nakládání s prostředky. Stavba byla provedena v období 07/2007 až 08/2009, je tedy považována za novostavbu.

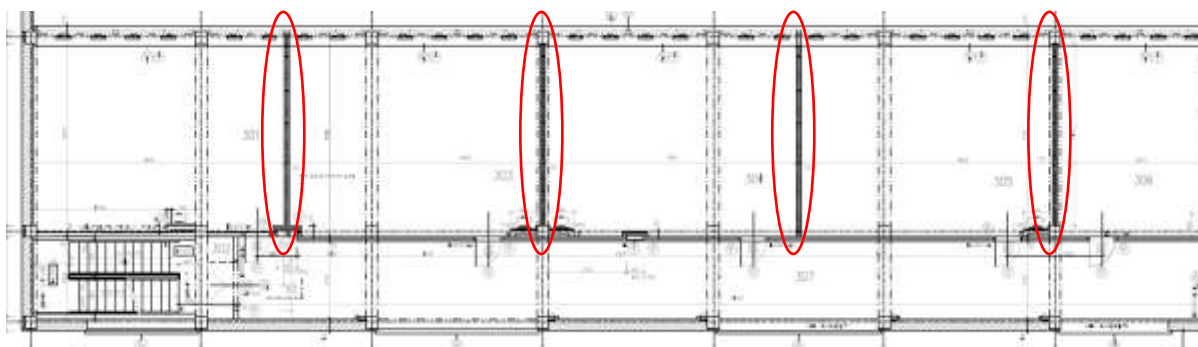
Po dohodě s majitelem objektu byly postupně zajištěny přístupy do mnoha prostor potřebných k měření, a to v období mimo provozní dobu tak, aby výsledky měření nebyly ovlivněny rušivým hlukem z užívání objektu.

### 3.1.1 Popis vybraných dělicích konstrukcí v objektu

Analýze měřením vzduchové neprůzvučnosti stěn byly podrobeny všechny příčky oddělující učebny v pavilonu „I“ ve druhém až pátém nadzemním podlaží. Dle zjištěných podkladů jsou dělicí stěny v tomto případě vyzděny z cihelných tvárnic od výrobce Wienerberger - Porotherm 11,5 AKU - Obrázek 5.



Obrázek 5 - Tvárnice Porotherm 11,5 AKU. Zdroj: [19]

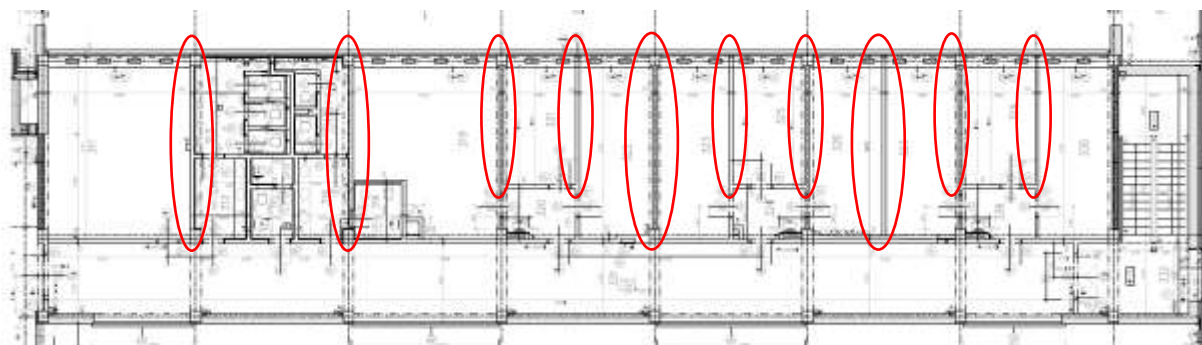


Obrázek 6 - Půdorys 2. NP pavilonu „I“ se zaznačením analyzovaných konstrukcí. Zdroj [18].

Dále vybrané příčky v pavilonu „H“ oddělující kanceláře ve třetím nadzemním podlaží - Obrázek 8. Dělicí prvky mezi kanceláři jsou rovněž zděné z cihelných tvárnic od výrobce Wienerberger, ovšem vzhledem k nižším požadavkům z hlediska akustiky na oddělení kancelářských prostor dle [11] byl zvolen materiál Porotherm 11,5 P+D - Obrázek 7.



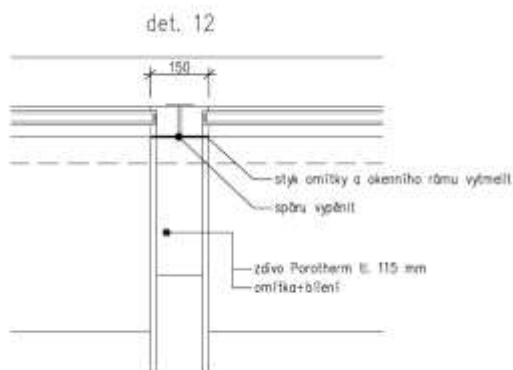
Obrázek 7 - Tvárnice Porotherm 11,5 P+D. Zdroj: [19]



Obrázek 8 - Půdorys 3. NP pavilonu „H“ se zaznačením analyzovaných konstrukcí. Zdroj [18].

V závislosti na poloze dělicí konstrukce v rámci skeletu se vyskytují tyto situace napojení dělicí příčky na okolní konstrukce:

1. Příčka je na jedné straně připojena přímo k výplňovému obvodovému plášti, na odvrácené straně je napojení tvaru „T“ ke stěně oddělující chodbu (Obrázek 9, Obrázek 10). Napojení na strop těsně přiléhá ke stropnímu panelu.



Obrázek 9 - Detail připojení měřené konstrukce k obvodovému plášti. Zdroj [18].



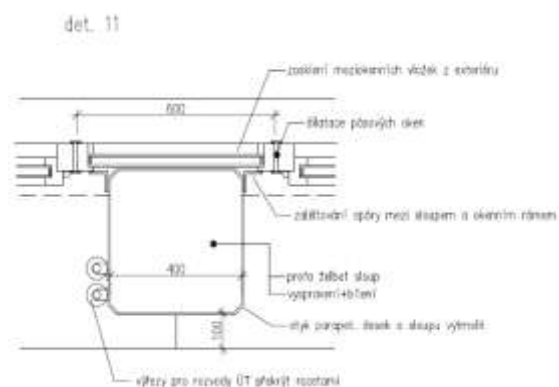
Obrázek 10 - Připojení analyzované konstrukce v místě mimo sloup skeletu.

2. Ve druhé variantě je dělicí příčka připojena na obou bočních stranách k železobetonovým sloupům skeletu (Obrázek 11, Obrázek 12). Napojení u stropu těsně přiléhá ke stropnímu rámu (průvlaku).

Toto řešení má z hlediska šíření hluku bočními cestami předpoklad akusticky lepší proveditelnosti oproti variantě 1.



Obrázek 11 - Pohled na příčku vyzdvanou do rámu skeletu.



Obrázek 12 - Připojení analyzované konstrukce v místě sloupů skeletu. Zdroj [18].

Ve všech místnostech je betonová filigránová stropní konstrukce doplněna zavěšeným podhledem tvořeným ocelovým roštem a pohltivými panely s perforací. Podhled je uchycen na závěsech a je snížen o 200 mm.



Obrázek 13 - Snížený podhled v místnostech.

### 3.2 Získávání zkušeností

Před započítím měření bylo nutné se seznámit se všemi normami a postupy týkajícími se oblasti stavební akustiky. Velké úsilí vyžadovalo rovněž otestování a odladění zvučoměru a periferií od firmy Brüel & Kjær, které se do té doby na Fakultě příliš nepoužívaly. Bylo provedeno mnoho „cvičných“ měření s různým nastavením, která vyžadovala mimořádnou časovou investici. Byla snaha ověřit správnost měřicích postupů s vytipovanými odborníky v oboru, zabývající se měřeními. Tento postup často narážel na neochotu pomoci, neboť se lidé z firem jen velmi neradi podíleli na distribuci svého „know-how“. Nakonec se podařilo vyjednat etalonážní měření přímo ve zkušebně CSI v Praze, kde se měřící kolektiv pod vedením Ing. Jindřicha Schwarze, CSc. a Ing. Miroslava Mellera, CSc. [44] přesvědčil o správnosti zvolených postupů vedoucích k nezkresleným výsledkům.



Obrázek 14 - Rozmístění přístrojů v akustické komoře CSI Praha.



Obrázek 15 - Diskuse nad změnami poloh mikrofonu.

Zkušenosti z měření byly po úspěšném absolvování školení v CSI v Praze postupně získávány při měřeních na stavbách poptávaných v rámci Hospodářských smluv či znaleckých posudků pro Znalecký ústav Fakulty stavební Ostrava. Během doktorského studia bylo realizováno více než 100 měření vzduchové a kročejové neprůzvučnosti na mnoha různých typech konstrukcí ve stavbách.

Výsledky činnosti doktoranda v oblasti stavební akustiky byly průběžně a každoročně periodicky publikovány. Dokument [25] se zabývá teoretickým rozбором šíření zvuku konstrukcemi. Práce [36] se věnuje přehledu dostupných stavebních materiálů pro dělicí konstrukce z hlediska jejich vzduchové neprůzvučnosti udávané výrobcí. Literatura [47] popisuje způsoby a postupy měření. Problematické detailů a napojení konstrukcí na okolní prvky je věnována publikace [57], kde poznatky v ní uvedené vyústily v Užité vzor [50]. Doporučené konstrukční úpravy pro zlepšení vzduchové neprůzvučnosti jsou souhrnně uvedeny v [68].



### 3.3 Přístrojové vybavení, postup a vyhodnocení měření

Při měření byly použity tyto špičkové přístroje od firmy Brüel & Kjær (Obrázek 16):



Obrázek 16 - Měřicí aparatura fakulty stavební.

Celé měřicí zařízení včetně mikrofону bylo kalibrováno před každým měřením akustickým kalibrátorem.

#### Postup zkoušky

Podrobné postupy měření vzduchové neprůzvučnosti byly provedeny dle postupů uvedených v ČSN EN ISO 140-4 [12].

Postupy uvedené v normě však ve své obecnosti nezohledňují konkrétní měřicí zařízení. Proto byla vypracována podrobná metodika pro měřicí zařízení Brüel & Kjær, která je neocenitelnou pomůckou pro budoucí zájemce o zvládnutí správného měření (příloha 8.3).

#### Vyhodnocení zkoušky

Vyhodnocení změřených průběhů a stanovení jednočíselných údajů bylo provedeno podle normy ČSN 717-1 [13]. Získaná jednočíselná veličina byla porovnána s požadavky definovanými v ČSN 73 0532 [11].

#### Nejistota měření

ČSN EN 20140-2 [14] stanovuje postupy pro posuzování chyb při akustických měřeních provedených podle ČSN EN ISO 140-4 [12] způsobených náhodnými a systematickými vlivy. Tato norma udává ukazatele opakovatelnosti a reprodukovatelnosti zkušebních metod.

### 3.4 Teoretický rozbor

#### 3.4.1 Definice

Vzduchová neprůzvučnost je vlastnost konstrukce (např. mezi místnostmi sousedního bytu, resp. mezi venkovním prostorem a místností vlastního bytu) projevující se ztrátou akustického výkonu zvuku při přenosu vzduchem prostřednictvím konstrukce.[2]

#### 3.4.2 Zvuk šířený vzduchem [5]

Označí-li se hladina akustického tlaku v poli odražených vln v místnosti zdroje (vysílací místnosti)  $L_1$  [dB] a hladina akustického tlaku v sousední místnosti příjmu (přijímací místnosti)  $L_2$  [dB], pak na rozdíl hladin  $D = L_1 - L_2$  [dB] budou mít rozhodující vliv zvukoizolační vlastnosti dělicí konstrukce charakterizované činitelem průzvučnosti  $\tau$  [-]. Uplatní se též plocha  $S$  [m<sup>2</sup>] dělicí konstrukce a celková pohltivost  $A_2$  [m<sup>2</sup>] přijímací místnosti.

Při hodnocení izolace proti zvuku šířenému vzduchem se používá veličina neprůzvučnost  $R$  [dB].

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad (1)$$

Pomocí této veličiny lze stanovit hladinu  $L_2$  [dB] akustického tlaku v místnosti příjmu. Výpočet je však nutno provádět v kmitočtových pásmech, protože neprůzvučnost je závislá na kmitočtu.

Akustický výkon  $P_a$  [W] pohlcený stěnou, která obě místnosti odděluje, je roven:

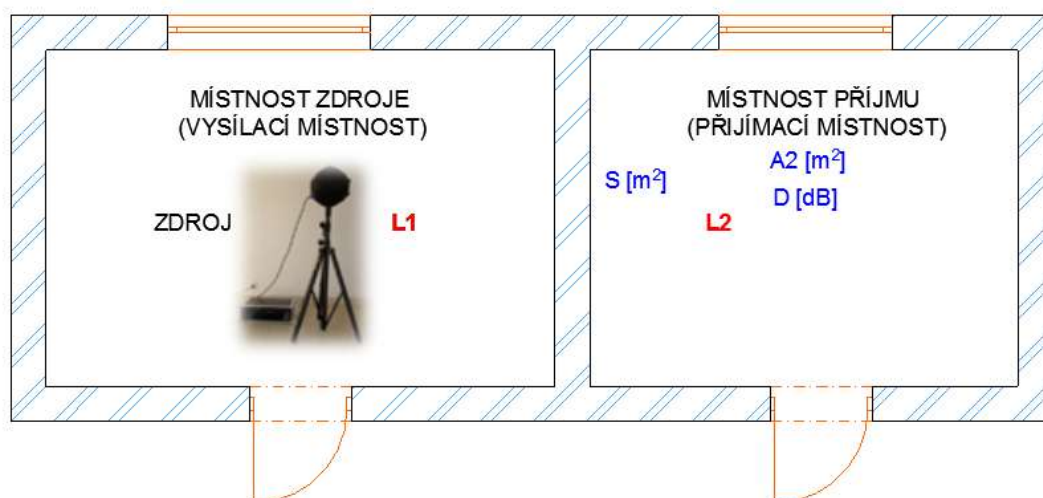
$$P_a = \frac{I_1 \cdot A}{4} = \frac{I_1 \cdot S \cdot \alpha}{4} \quad (2)$$

Kde:

$I_1$  [W/m<sup>2</sup>] - intenzita v difuzním poli místnosti zdroje dle definice (6),

$S$  [m<sup>2</sup>] - plocha dělicí stěny,

$\alpha$  [-] - činitel pohltivosti zvuku.



Obrázek 17 - Neprůzvučnost mezi místnostmi.

Nahradíme-li ve vztahu (2) činitel pohltivosti zvuku  $\alpha$  [-] činitelem průzvučnosti  $\tau$  [-], obdržíme rovnici pro stanovení akustického výkonu  $P_t$  [W], který prochází stěnou.

$$P_t = \frac{I_1 \cdot S \cdot \tau}{4} \quad (3)$$

Úpravou rovnice (3), spočívající v jejím vynásobení číslem  $10^{12}$ , logaritmování a násobení deseti, získáme vztah pro hladinu akustického výkonu  $L_{wt}$  [W], který prochází stěnou.

$$\begin{aligned} L_{wt} &= 10\log\tau + 10\log S - 10\log 4 \\ L_{wt} &= L_1 - 10\log\frac{1}{\tau} + 10\log S - 6 \\ L_{wt} &= L_1 - R + 10\log S - 6 \end{aligned} \quad (4)$$

Vztah (4) je možno dosadit do (5):

$$L = L_w + 10\log\frac{4}{A} \quad (5)$$

Kde:

$L_w$  [dB] - hladina akustického výkonu zdroje,

$A$  [ $m^2$ ] - celková pohltivost místnosti.

Získáme tak vztah (6) pro stanovení hladiny akustického tlaku  $L_2$  [dB] v místnosti příjmu. Výpočet se provádí v kmitočtových pásmech, protože neprůzvučnost  $R$  [dB] je závislá na kmitočtu.  $A_2$  [ $m^2$ ] je celková pohltivost místnosti příjmu, která rovněž na kmitočtu závisí.

$$\begin{aligned} L_2 &= L_w + 10\log\frac{4}{A_2} \\ L_2 &= L_1 - R + 10\log S - 6 + 10\log 4 - 10\log A_2 \\ L_2 &= L_1 - R + 10\log S - 6 + 6 - 10\log A_2 \\ L_2 &= L_1 - R + 10\log\frac{S}{A_2} \end{aligned} \quad (6)$$

Upravený vztah (6) se používá ke stanovení neprůzvučnosti  $R$  [dB] měřením, kde se hladiny  $L_1$  a  $L_2$  vybuzečné umělým zkušebním zdrojem zvuku měří zvukoměrem a celková pohltivost  $A_2$  místnosti příjmu se vypočte ze změřené doby dozvuku  $T_2$  [s] v místnosti příjmu podle Sabinova vztahu (7) vztahem (8).



$$T = 0,163 \frac{V}{A} \quad (7)$$

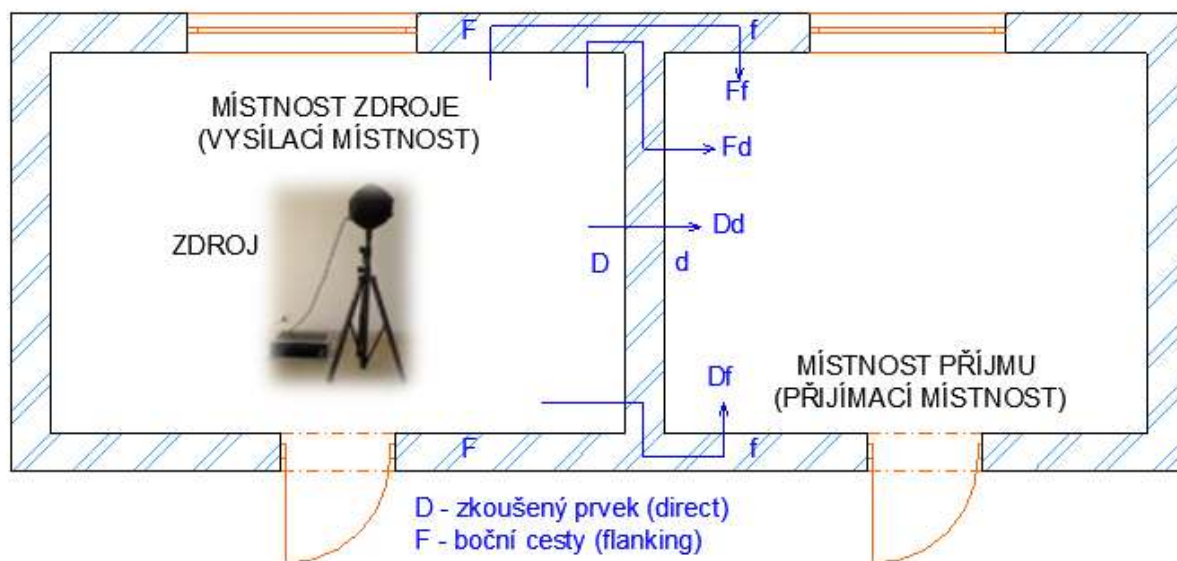
Kde:

$V [m^3]$  - objem místnosti,

$A [m^2]$  - celková pohltivost místnosti (součet všech ploch: strop+stěny+podlaha).

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A_2} \quad (8)$$

Pro některé dělicí konstrukce existují relativně spolehlivé metody předpovědi hodnot neprůzvučnosti výpočtem. Hodnoty neprůzvučnosti změřené na konstrukci zabudované v reálném stavebním objektu (ve stavbě) jsou však zpravidla nižší oproti hodnotám zjištěným měřeními v akustické laboratoři nebo oproti hodnotám teoreticky vypočteným. Příčinou může být odlišné provedení konstrukce na stavbě oproti laboratoři, ale zejména je příčinou uvedeného rozdílu šíření zvuku na stavbě bočními cestami, tj. cestami mimo hodnocenou konstrukci. Cesta (Dd) je přímá, zatímco typy cest označené (Ff), (Fd) a (Df) představují boční přenos zvuku (přes boční navazující konstrukce), který je při měření v laboratoři vyloučen a také se při výpočtu neprůzvučnosti neuvažuje. Viz Obrázek 18.



Obrázek 18 - Typy cest šíření zvuku.

Rozeznává se:

- (laboratorní) neprůzvučnost  $R_w$  [dB] - s označením „bez čárky“ - obsahuje jen cestu (Dd);
- stavební neprůzvučnost  $R'_w$  [dB] - s označením „s čárkou“ - obsahuje všechny typy cest (Fd), (Ff), (Df).

Vztah mezi oběma veličinami je: [11]

$$R'_w = R_w - k_1 \quad (9)$$

kde

- $k_1$  je korekce závislá na vedlejších cestách šíření zvuku:  
 $k_1 = 2$  dB základní hodnota platná pro všechny dělicí konstrukce v masivních zděných nebo montovaných panelových stavbách z klasických materiálů (cihly, beton);  
 $k_1 = 2$  až 5 dB doporučené hodnoty pro těžké dělicí konstrukce ve skeletových stavbách (např. vyzdívané konstrukce ve skeletu apod);  
 $k_1 = 4$  až 8 dB doporučené hodnoty pro lehké dělicí konstrukce ve skeletových, ocelových nebo dřevěných stavbách (deskové dílce, sádkartonové konstrukce, dřevěné stropy apod.).

Kritériem pro hodnocení konstrukcí je stavební neprůzvučnost  $R'$  [dB], protože jen tu je možno v dokončeném stavebním objektu zjišťovat měřením. Při přebírání údajů o neprůzvučnosti z technických prospektů výrobců dělicích konstrukcí je třeba obě veličiny pečlivě rozlišit, protože výrobci někdy bez bližšího vysvětlení udávají příznivější laboratorní hodnoty.

### 3.4.3 Požadavky na neprůzvučnost - vážená stavební neprůzvučnost [5]

Při poslechu hudby přes stěnu ze sousední místnosti slyšíme nejlépe basy a bicí, zatímco vysoké tóny jsou potlačeny. Hodnota neprůzvučnosti  $R$  [dB] totiž zpravidla vzrůstá s kmitočtem. Proto dělicí konstrukce obvykle lépe tlumí zvuk o vyšším kmitočtu a zvuk nízkých kmitočtů snáze propouští. Závislost však není lineární a u různých konstrukcí a materiálů má různý průběh. V některých částech spektra může dokonce docházet k opačné závislosti (k poklesům hodnoty  $R$  se vzrůstajícím kmitočtem) v důsledku rezonance nebo vlnové koincidence. Hodnoty  $R$  se proto zjišťují v závislosti na kmitočtu v pásmech třetin oktávy (tj. podrobněji než v pásmech oktávových). Kmitočtový rozsah hodnocení neprůzvučnosti je dán zvukoizolačním pásmem, které zahrnuje pásma třetin oktávy se středními kmitočty v rozsahu 100 až 3150 Hz. Střední kmitočty pásem třetin oktávy jsou uvedeny v *Tabulka 1*, kde jsou zároveň uvedeny hodnoty směrné křivky  $SK$  [dB] používané ke stanovení jednočíselné hodnoty vážené neprůzvučnosti  $R_w$  [dB]. Jedná se o celkem 16 pásem třetin oktávy.

*Tabulka 1 - Střední hodnoty  $f$  [Hz] pásem třetin oktávy v rozsahu zvukoizolačního pásma a hodnoty  $SK$  [dB] směrné křivky pro neprůzvučnost.*

č	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$f$ [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$SK$ [dB]	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56

Závislost neprůzvučnosti  $R$  [dB] (změřené nebo vypočtené) na kmitočtu se zobrazuje v normalizovaném diagramu. Jedná se o pravoúhlý diagram, kde na vodorovné ose je v logaritmickém měřítku stupnice středních kmitočtů  $f$  [Hz] pásem třetin oktávy a na svislé ose neprůzvučnost  $R$  [dB]. Rozměry diagramu jsou normalizovány tak, že jedné oktávě na vodorovné ose odpovídá 30 mm a jednomu decibelu na svislé ose odpovídají 4 mm. Hodnoty neprůzvučnosti v jednotlivých pásmech třetin oktávy se s přesností na desetinu decibelu vynesou do diagramu. Sousední hodnoty se spojí úsečkami. Vzniklá lomená čára znázorňuje závislost neprůzvučnosti na kmitočtu.

Hodnotit zvukoizolační vlastnosti konstrukcí pomocí 16 číselných údajů by bylo velmi nepraktické. Proto norma ČSN EN ISO 717-1 [13] obsahuje postup, kterým se z těchto 16 hodnot porovnáním se směrnou křivkou stanoví jednočíselné hodnocení - již zmíněná vážená neprůzvučnost  $R_w$  [dB]. Postup v sobě zahrnuje preferenci těch kmitočtů, které mají na rušivost hluku větší vliv (jakási obdoba váhové funkce zvukoměru).

Tvar směrné křivky je dán hodnotami  $SK$  [dB], viz *Tabulka 1*. Jedná se vlastně o dvakrát lomenou čáru, takže vžitý název „křivka“ je vlastně z geometrického hlediska nesprávný. Při stanovení vážené hodnoty neprůzvučnosti se směrnou křivkou pohybuje a hledá se její „správná poloha“ vyhovující dále uvedeným podmínkám. Pohyb směrnou křivkou je přípustný jen ve svislém směru s krokem jeden decibel a sledují se při něm nepříznivé odchylky hodnoceného průběhu neprůzvučnosti od této křivky. Součet těchto nepříznivých odchylek smí být **nanejvýš 32 dB**. K příznivým odchylkám v části spektra, kde hodnoty neprůzvučnosti jsou nad směrnou křivkou, se nepřihlíží. Hodnota posunuté směrné křivky v pásmu 500 Hz je hledaným jednočíselným údajem - váženou neprůzvučností  $R_w$  [dB]. Protože existuje zpravidla tendence dokázat, že hodnocená konstrukce má co nejlepší vlastnosti, je zájem na tom posunout směrnou křivku co nejvýše. Pravidlo o nejvyšší přípustné hodnotě součtu nepříznivých odchylek 32 dB však pohyb směrné křivky směrem vzhůru zastaví.

Důsledkem toho, že směrnou křivkou se pohybuje s krokem o jeden decibel, je skutečnost, že vážená hodnota  $R_w$  [dB] je vždy celé číslo bez desetinných míst. Vážená neprůzvučnost  $R_w$  [dB] tedy není fyzikální veličinou v pravém slova smyslu, a proto také není přípustné její hodnoty dosazovat do jakýchkoli fyzikálních rovnic. Význam této veličiny se podobá spíše bodovému hodnocení. Její dřívější název, se kterým se lze setkat ve starší literatuře „index vzduchové neprůzvučnosti“, tuto její vlastnost vyjadřoval přesněji (index = ukazatel).

ČSN EN ISO 717-1 [13] kromě kritéria vážené neprůzvučnosti uvádí doplňková kritéria - faktory přizpůsobení spektru  $C$  a  $C_{tr}$ , [dB]. Tato kritéria pravděpodobně v budoucnosti nahradí váženou neprůzvučnost. Výhodou faktorů přizpůsobení spektru je to, že při jejich stanovení odpadá poměrně složitá manipulace se směrnou křivkou.

*Tabulka 2 - Spektra hladin akustického tlaku k výpočtu faktorů přizpůsobení.*

č	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
f [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
č.1 [dB]	-29	-26	-23	-21	-19	-17	-15	-13	-12	-11	-10	-9	-9	-9	-9	-9
č.2 [dB]	-20	-20	-18	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-9	-8	-9	-10	-11	-13	-15

Faktor přizpůsobení spektru  $C_j$  [dB] se vypočte podle rovnice:

$$C_j = X_{aj} - R_w \quad (10)$$

kde je

$j$  - číslo spektra č. 1 nebo č. 2 z

*Tabulka 2* (spektrum č. 1 se použije pro výpočet faktoru  $C$ , spektrum č. 2 se použije pro výpočet faktoru  $C_{tr}$ );

$R_w$  - vážená neprůzvučnost [dB].

$X_{aj}$  [dB] se vypočte podle rovnice:

$$X_{aj} = -10 \log \sum 10^{0,1(L_{ij}-R_j)} \quad (11)$$

kde je:

$L_{ij}$  hladina uvedená pro  $i$ -tý kmitočet  $v$

Tabulka 2 [dB];

$R_i$  hodnota neprůzvučnosti pro  $i$ -tý kmitočet [dB].

Faktor přizpůsobení spektru se vypočte s přesností na 0,1 dB a zaokrouhlí se na celé číslo. Při uvádění výsledků výpočtu nebo měření se uvádí vážená neprůzvučnost a oba faktory přizpůsobení spektru v závorce. Příklad:

$$R_w (C; C_{tr}) = 41 (0; -5) \text{ dB.}$$

Je-li ve stavbách požadována zvýšená ochrana proti hluku, pak ČSN 73 0532 [11] doporučuje jako kritérium neprůzvučnosti použít součet vážené neprůzvučnosti a faktoru přizpůsobení spektru. V běžných případech se faktory přizpůsobení spektru nehodnotí.

### 3.4.4 Neprůzvučnost jednoduché stěny [5]

Za jednoduché se považují konstrukce:

- jednovrstvé homogenní;
- vícevrstvé s podobnými mechanickými vlastnostmi jednotlivých vrstev;
- jednovrstvé a vícevrstvé vylehčené dutinami;
- vícevrstvé plášťové s nehmotným jádrem (sendvičové).

Při sledování závislosti neprůzvučnosti  $R$  [dB] jednoduché stěny lze rozlišit tři oblasti:

- oblast rezonance;
- oblast platnosti zákona hmotnosti;
- oblast vlnové koincidence.

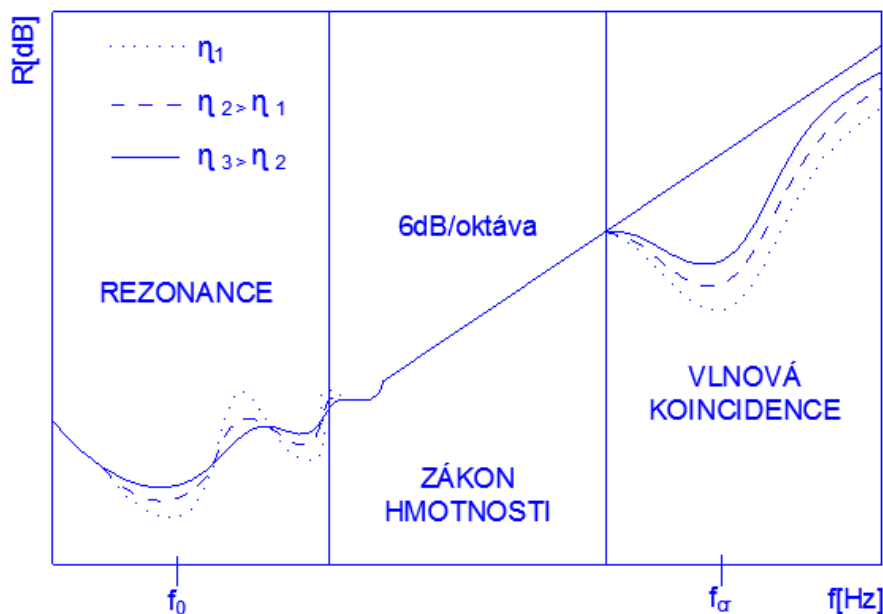
Oblast rezonance se vyskytuje v oblasti nízkých kmitočtů. Předpokládá se, že stěna má tvar pravoúhlé desky, jejíž tloušťka stěny  $h$  [m] je na rozdíl od délky  $l_x$  [m] a šířky  $l_y$  [m] stěny velmi malá, a že stěna je uložena (nikoli vetknuta) po všech čtyřech stranách. Rezonanční kmitočty  $f_{xy}$  takové stěny jsou dány rovnicí:

$$f_{xy} = 0,45 \cdot c \cdot h \cdot \left[ \left( \frac{n_x}{l_x} \right)^2 + \left( \frac{n_y}{l_y} \right)^2 \right] \quad (12)$$

kde je:

$c$  - materiálový parametr [m/s], rychlost podélného vlnění v materiálu stěny;

$n_x, n_y$  - libovolná celá čísla.



Obrázek 19 - Průběh neprůzvučnosti  $R$  (dB) v závislosti na kmitočtu  $f$  (Hz).

Rychlost podélných vln v tuhých látkách velkého objemu závisí na modulu pružnosti  $E$  [Pa] v tahu a na objemové hmotnosti  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] tuhé látky:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (13)$$

Rychlost příčných vln  $c_T$  [m/s] v tuhých látkách závisí na modulu pružnosti  $G$  [Pa] tuhé látky ve smyku:

$$c_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (14)$$

Vztah mezi oběma moduly pružnosti závisí na Poissonově poměru příčné kontrakce  $\mu$  [-].

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)} \quad (15)$$

Na Poissonově poměru příčné kontrakce závisí i rychlost podélných vln v tuhých látkách o konečných rozměrech. Pro desky, kde tloušťka  $h$  [m] je malá ve srovnání s délkou a šířkou a je menší než vlnová délka zvuku, je tato rychlost dána vztahem:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho \cdot (1 - \mu^2)}} \quad (16)$$

Nejnižší z rezonančních kmitočtů se nazývá základní rezonanční kmitočet  $f_0$  [Hz]. Při tomto kmitočtu stěna kmitá s největší výchylkou uprostřed. Směrem k okrajům

se výchylka snižuje. Výpočet základního rezonančního kmitočtu se provede podle vztahu (12), kde  $n_x = 1$  a  $n_y = 1$ .

$$f_0 = 0,45 \cdot c \cdot h \cdot \left[ \frac{1}{l_x^2} + \frac{1}{l_y^2} \right] \quad (17)$$

V okolí rezonančního kmitočtu je neprůzvučnost stěny velmi malá v důsledku zvýšeného přenosu zvuku rezonancí. Výpočet neprůzvučnosti je v oblasti rezonance problematický. Výhodou ale je, že oblast rezonance konstrukcí běžných rozměrů se vyskytuje téměř vždy mimo zvukoizolační pásmo, protože základní rezonanční kmitočet je vždy velmi nízký  $f_0 \ll 100$  Hz. V oblasti rezonance je neprůzvučnost ovlivněna také ztrátovým činitelem  $\eta$  [-], který je vedle rychlosti  $c$  [m/s] podélného vlnění dalším materiálovým parametrem. Malé hodnotě ztrátového činitele odpovídají velké rozdíly mezi lokálními maximy a minimy neprůzvučnosti a naopak. Ještě větší vliv ztrátového činitele se projevuje v oblasti vlnové koincidence.

Oblast platnosti zákona hmotnosti je ohraničena přibližně trojnásobkem základního rezonančního kmitočtu a kmitočtem rovným přibližně jedné třetině kritického kmitočtu vlnové koincidence  $f_{cr}$  [Hz]. Vazba mezi konstrukcí a prostředím je v této kmitočtové oblasti malá. Rychlost a vlnová délka volných ohybových vln v konstrukci je menší než rychlost a vlnová délka budících zvukových vln dopadajících ze vzduchu. Teoreticky nenastane ohybové vlnění v konstrukci. Neprůzvučnost závisí jen na kmitočtu  $f$  [Hz] a na plošné hmotnosti  $m'$  [kg/m<sup>2</sup>] konstrukce. Plošná hmotnost je hmotnost jednoho čtverečního metru stěny a stanoví se pomocí vztahu:

$$m' = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot h_i \quad (18)$$

kde je:

$h_i$  tloušťka  $i$ -té vrstvy konstrukce [m];

$\rho_i$  objemová hmotnost této vrstvy [kg/m<sup>3</sup>];

$n$  počet vrstev v konstrukci.

Pro jednovrstvou konstrukci platí:

$$m' = \rho \cdot h \quad (19)$$

Je-li na straně zdroje zvuku uzavřený prostor (místnost) s difuzním zvukovým polem, pak lze uvažovat všesměrný dopad zvukových vln na konstrukci. V takovém případě platí, že neprůzvučnost se zvyšuje o 6 dB při každém zdvojnásobení kmitočtu (6 dB / oktáva) a také o 6 dB při každém zdvojnásobení plošné hmotnosti. Neprůzvučnost lze stanovit pomocí vztahu:

$$R = 20 \log(m' \cdot f) - 47,5 \quad (20)$$

Oblast vlivu vlnové koincidence se nachází nad kritickým kmitočtem  $f_{cr}$ , [Hz] vlnové koincidence. Neprůzvučnost v této oblasti je nižší, než by odpovídalo zákonu hmotnosti v důsledku rostoucího vlivu ohybové tuhosti konstrukce. Míra tohoto poklesu závisí na materiálových parametrech konstrukce. Jestliže se kolmý průmět vlnové délky  $\lambda_0$  [m] dopadající zvukové vlny do roviny jednoduché konstrukce

shoduje s vlnovou délkou  $\lambda_B$  [m] volných ohybových vln v konstrukci, je mezi konstrukcí a prostředím v této kmitočtové oblasti velmi silná vazba:

$$\lambda_0 / \sin \rho = \lambda_B \quad (21)$$

Lze stanovit úhel dopadu  $\sigma$  [°] zvukových vln, při kterém nastává koinkidence.

$$\sigma = \arcsin \frac{\lambda_0}{\lambda_B} = \arcsin \frac{c_0}{c_B} \quad (22)$$

kde je:

$C_0$  rychlost zvuku ve vzduchu [m/s],

$C_B$  rychlost ohybových vln v konstrukci [m/s], která je dána vztahem:

$$c_B = \sqrt{2\pi \cdot f \cdot \frac{B}{m'}} = \sqrt{2\pi \cdot f \cdot \frac{E \cdot h^3}{12m' \cdot (1 - \mu^2)}} = \sqrt{\frac{\pi}{\sqrt{3}} \cdot c \cdot h \cdot f} \quad (23)$$

kde je:

$C$  rychlost podélných vln v desce [m/s] dle vztahu (16);

$m'$  plošná hmotnost desky [kg/m<sup>2</sup>] dle vztahu (19);

$B$  ohybová tuhost desky [kg.m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]:

$$B = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \quad (24)$$

Kde:

$E$  [kg/(m.s<sup>2</sup>)] je dynamický modul pružnosti tuhé látky za ohybu.

Koinkidenční kmitočet  $f_c$  [Hz] pro úhel dopadu  $\sigma$  [°] se stanoví pomocí vztahu:

$$f_c(\sigma) = \frac{f_{cr}}{\sin^2 \sigma} \quad (25)$$

kde  $f_{cr}$  [Hz] je kritický (nejnižší) kmitočet vlnové koinkidence pro tečný dopad zvukových vln  $\sigma = 90^\circ$ .

Je-li  $\sigma = 90^\circ$ , pak podle (22) se rychlost ohybových vln v desce rovná rychlosti zvuku ve vzduchu  $C_B = C_0$  a po dosazení do (23) lze vyjádřit kritický kmitočet vlnové koinkidence:

$$f_{cr} = \frac{c_0^2 \cdot \sqrt{3}}{\pi \cdot c \cdot h} \quad (26)$$

Pro sendvičové konstrukce ad d) vychází:

$$f_{cr} = \frac{63734}{c \cdot h \cdot \sqrt{q + \left(\frac{3}{2q}\right) - 3}} \quad (27)$$

Kde je:

$c$  rychlost podélných vln v materiálu plášťů sendvičové konstrukce [m/s];

- h tloušťka celé konstrukce  $h < \lambda_B / 6$  [m];  
 q poměr tloušťky pláště k celkové tloušťce sendvičové konstrukce [-].

### 3.4.5 Výpočet neprůzvučnosti jednoduché stěny technickou metodou [5]

K výpočtu neprůzvučnosti  $R$  [dB] jednoduché konstrukce lze použít modifikovanou metodu G. B. Watterse [3], modifikovanou podle [2], kde je tato metoda nazvána jako **technická metoda**. Závislost neprůzvučnosti na kmitočtu je v této metodě nahrazena třikrát lomenou čarou - *Obrázek 20*. Body zlomu A ( $f_A$ ;  $R_A$ ), B ( $f_B$ ,  $R_A$ ) a C ( $f_C$ ;  $R_A+10$ ) oddělují od sebe čtyři výpočtové oblasti označené římskými čísly I. až IV. V oblasti I. a IV. neprůzvučnost roste se strmostí 6 dB na oktávu, v oblasti III. se strmostí 10 dB na oktávu a v oblasti II. je průběh neprůzvučnosti konstantní (nezávislý na kmitočtu). K výpočtu neprůzvučnosti jednoduché stěny je třeba znát pouze její tloušťku [m] a tři materiálové parametry: objemovou hmotnost  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>], rychlost  $c$  [m/s] šíření podélných vln v materiálu stěny a ztrátový činitel  $\eta$  [-].

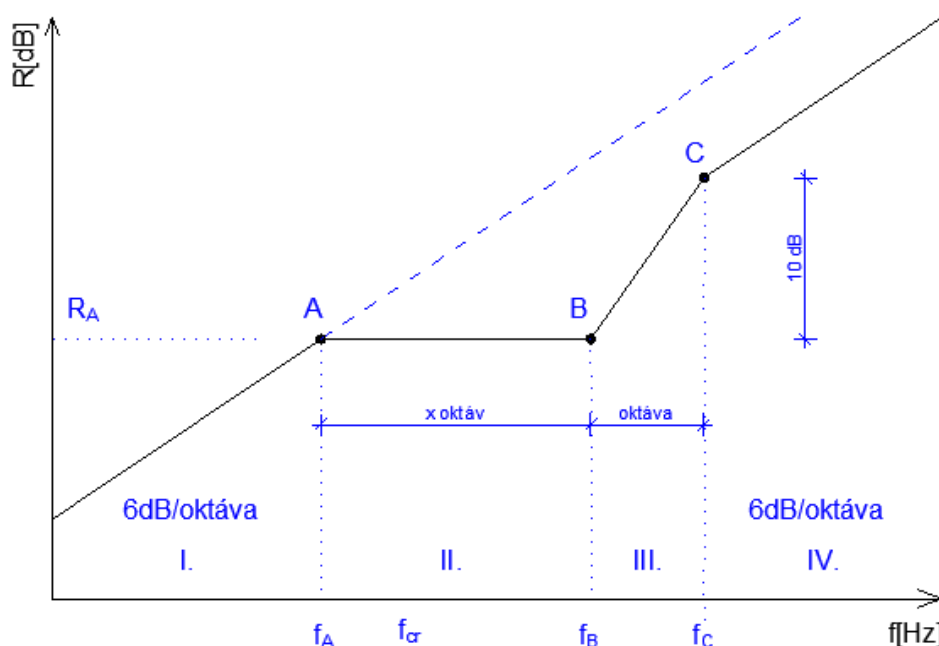
Výpočet zlomových kmitočtů  $f_A$ ,  $f_B$ ,  $f_C$  [Hz] vychází z hodnoty kritického kmitočtu  $f_{CR}$  [Hz] viz vztah (26) resp (27).

$$f_A = 0,4 \cdot f_{cr} \cdot \eta^{0,1} \quad (28)$$

$$f_B = 2^x \cdot f_A \quad (29)$$

kde  $x = 1,33 \cdot \eta^{-0,157}$  je počet oktáv mezi kmitočty  $f_A$  a  $f_B$

$$f_C = 2 \cdot f_B \quad (30)$$



Obrázek 20 - Předpokládaný průběh neprůzvučnosti  $R$  [dB] jednoduché stěny v závislosti na kmitočtu.



Neprůzvučnost v místě A, resp. v místě B se stanoví podle vztahu (20).

$$R_A = 20 \log(m' \cdot f_A) - 47,5 \quad (31)$$

$$R_B = R_A \quad (32)$$

$$R_C = R_A + 10 \quad (33)$$

Výpočet neprůzvučnosti v jednotlivých pásmech třetin oktávy se rozpadá do čtyř oblastí I. až IV.

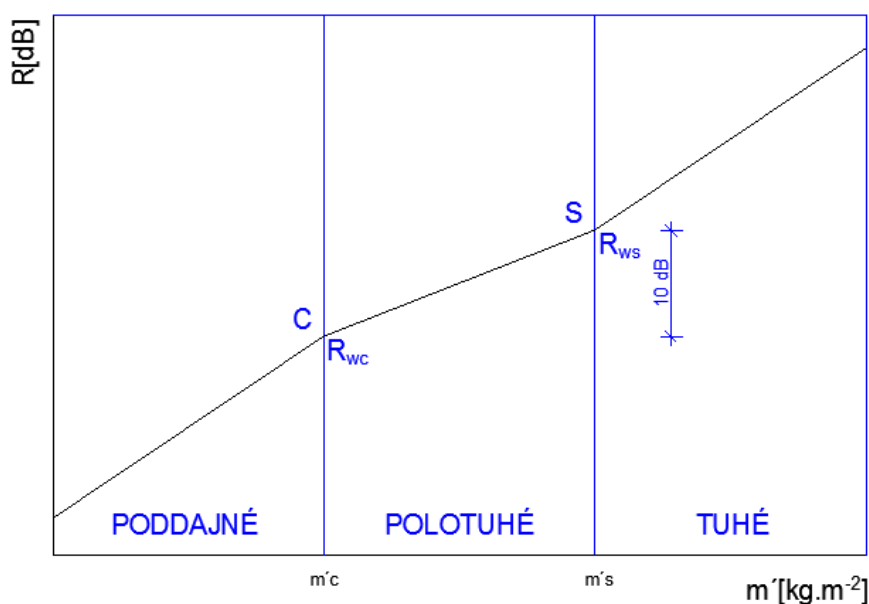
Vypočtené hodnoty se vynesou do normalizovaného diagramu a stanoví se hodnota vážené neprůzvučnosti porovnáním se směrnou křivkou, popř. se stanoví faktory přizpůsobení spektru. Neprůzvučnost  $R_A$  [dB] nezávisí na tloušťce stěny, a je tedy materiálovou konstantou, což lze prokázat dosazením do vztahu (31).

$$\begin{aligned} R_A &= 20 \log(m' \cdot f_A) - 47,5 \\ &= 20 \log \left( \rho \cdot h \cdot 0,4 \cdot \frac{63734}{c \cdot h} \cdot \eta^{0,1} \right) - 47,5 \\ &= 20 \log \frac{\rho}{c} + 2 \log \eta + 40,7 \end{aligned} \quad (34)$$

### 3.4.6 Výpočet neprůzvučnosti jednoduché stěny provozní metodou [2]

Pomocí provozní metody lze snáze určit vzduchovou neprůzvučnost, neboť není nutno provádět kmitočtovou analýzu a manipulovat se směrnou křivkou.

Grafem indexu vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$  jednoduché konstrukce v závislosti na plošné hmotnosti  $m'$  je dvakrát lomená čára (Obrázek 21).



Obrázek 21 - Předpokládaný průběh neprůzvučnosti  $R$  [dB] jednoduché stěny v závislosti na kmitočtu.

Plošné hmotnosti  $m'_o$ ,  $m'_s$  [ $\text{kg m}^{-2}$ ], jimž odpovídají zalomení grafu, jsou mezemi, podle nichž se jednoduché konstrukce dělí na ohybově poddajné, polotuhé a tuhé:

$$m'_c = k_c \cdot \frac{\rho_i}{C} \quad (35)$$

$$m'_s = k_c \cdot k_s \frac{\rho_i}{C} = k_s \cdot m'_c \quad (36)$$

kde  $\rho_i$ ,  $C$  viz rovnice (18), (27),

$k_c$  [ $\text{m.s}^{-1}$ ],  $k_s$  [-]

- veličiny závislé na hodnotě ztrátového činitele  $\eta$  [-].

$$k_c = 48^{1/2} \cdot 10^{-4} \cdot c_0^2 \cdot \eta^{1/2} \cdot \pi^{-1} \approx 25,49 \cdot \eta^{0,1} \quad (37)$$

$$k_s = 2^{1,33(\eta^{-0,157})+1} \quad (38)$$

Vypočítá se plošná hmotnost konstrukce  $m'$  [ $\text{kg m}^{-2}$ ], viz rovnici (18). Po dosazení do příslušné z rovnic (39) až (41), platných pro dílčí intervaly plošných hmotností, se vypočítá hodnota vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$  [dB].

Pro  $m' \leq m'_c$  neboli pro konstrukce ohybově poddajné:

$$R_w = 20 \log(m') + 10 \quad (39)$$

Pro  $m'_c \leq m' \leq m'_s$  neboli pro konstrukce polotuhé:

$$R_w = R_{wc} + 10 \log(k_s)^{-1} \cdot \log(m'/m'_c) \quad (40)$$

Pro  $m' \leq m'_s$  neboli pro konstrukce ohybově tuhé:

$$R_w = 20 \log(m'/k_s) + 20 \quad (41)$$

$$R_{wc} = 20 \log(m'_c) + 10 \quad (42)$$

$$R_{ws} = R_{wc} + 10 \quad (43)$$

Protože hodnota  $R_w$  změřená nebo vypočítaná technickou metodou je číslo celé, výsledná hodnota  $R_w$  vypočítaná provozní metodou se zaokrouhlí na nejbližší nižší celé číslo.

### 3.4.7 Výpočet neprůzvučnosti jednoduché stěny podle modelu dle [15]

Výhodou tohoto výpočetního modelu je, že zahrnuje vliv bočních cest šíření zvuku. Vstupními veličinami jsou ovšem laboratorní hodnoty  $R_w$  dělicího prvku a okolních navazujících prvků.

V reálných situacích na stavbách může být množství přenosových (bočních) cest velké a jejich charakter různorodý od bočních přenosů kolmo navazujícími konstrukcemi až po boční cesty přenosu vzduchem, např. prostorem nad podhledem místností. Při výpočtu pomocí tohoto modelu se uvažuje pouze boční přenos prostřednictvím konstrukcí bezprostředně spojených s hodnoceným dělicím prvkem. Přenos od „zadní“ stěny místnosti se obvykle zanedbává. Přenos pak sestává z dvanácti bočních cest a jedné cesty přímého přenosu. Vzhledem k tomu, že boční konstrukce jsou čtyři (podlaha, strop, levá a pravá stěna), lze s odvoláním na *Obrázek 18* specifikovat čtyři cesty typu  $F_f$ , čtyři cesty typu  $D_f$ , čtyři cesty  $F_d$  a jednu přímou cestu  $D_d$ .

Značení:

D - zkoušený prvek (direct),

F - boční cesty (flanking),

velká písmena - prvky v místnosti zdroje zvuku,

malá písmena - prvky v místnosti příjmu zvuku.

#### Zjednodušený model pro přenos konstrukcí - postup výpočtu

Zjednodušená verze výpočetního postupu predikuje váženou stavební neprůzvučnost na základě vážených zvukoizolačních charakteristik příslušných prvků. Týká se vážení podle EN ISO 717-1. Model je uveden pro váženou neprůzvučnost  $R_w$ , lze jej však aplikovat na jednočíselné hodnocení s faktorem přizpůsobení spektru, tj.  $R_w + C$ . Výsledný odhad vlastností budovy se udává stejným způsobem jednočíselného hodnocení, jako se používá pro stavební prvky, tj.  $R'_w$  nebo  $(R'_w + C)$ .

POZNÁMKA 1 Pro jednoduchost mohou být součty s faktory přizpůsobení spektru označeny jednou značkou, například  $R_w + C = R'_A$  a  $D_{nT,w} + C = D_{nT,A}$ .

POZNÁMKA 2 Energetické sčítání použité v modelu je přesné pro  $R'_A$  a přijatelná aproximace pro  $D_{nT,A}$ .

Použití zjednodušeného modelu je omezeno na přímý a boční přenos hlavními homogenními prvky. Vliv strukturálního tlumení prvků je zahrnuto průměrným způsobem, zanedbávajícím zvláštnosti situace. Boční prvky by měly být stejné na straně zdroje a na straně příjmu zvuku. Pokud hodnoty stykové neprůzvučnosti vibrací závisejí na kmitočtu, lze hodnotu pro 500 Hz považovat za dobrou aproximaci, výsledky však potom mohou být méně přesné.

Pro zjednodušený model se vážená stavební neprůzvučnost mezi dvěma místnostmi určuje podle:

$$R'_w = -10 \log \left[ 10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-R_{Ff,w}/10} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-R_{Df,w}/10} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-R_{Fd,w}/10} \right] \quad (44)$$

kde

$R_{Dd,w}$  je vážená neprůzvučnost pro přímý přenos, v decibelech;

$R_{Ff,w}$  vážená neprůzvučnost pro boční přenos, pro cestu přenosu  $F_f$ , v decibelech;

$R_{Df,w}$  vážená neprůzvučnost pro boční přenos, pro cestu přenosu  $D_f$ , v decibelech;

$R_{Fd,w}$  vážená neprůzvučnost pro boční přenos, pro cestu přenosu  $F_d$ , v decibelech;

$n$  počet bočních prvků v místnosti; obvykle  $n = 4$ , může však být nižší nebo vyšší v závislosti na projektu a konstrukci uvažované situace.

POZNÁMKA 3 Pro určité situace v budovách (kombinace lehkých prvků nebo kombinace lehkých prvků a hmotných prvků, tj. se stropními podhledy nebo lehkými fasádami) boční přenos probíhá hlavně cestou  $F_f$  a poslední dva členy v (44) lze pro tento boční prvek zanedbat.

POZNÁMKA 4 Příspěvek jednoho bočního prvku k celkovému bočnímu přenosu lze stanovit součtem odpovídajících přenosů cestami  $F_f$  a  $D_f$ ; příspěvek bočního přenosu k vyzařování dělicím prvkem lze stanovit součtem přenosů cestami  $F_d$  pro všechny boční prvky.

Vážená neprůzvučnost pro přímý přenos je určena ze vstupní hodnoty pro dělicí prvek podle vztahu:

$$R_{Dd,w} = R_{s,w} + \Delta R_{Dd,w} \quad (45)$$

kde

$R_{s,w}$  je vážená neprůzvučnost dělicího prvku, v decibelech;

$\Delta R_{Dd,w}$  celkové zlepšení neprůzvučnosti přídavným obložením na straně zdroje nebo straně příjmu zvuku dělicího prvku, v decibelech.

Vážené údaje o snížení zvuku šířeného bočními cestami jsou určeny ze vstupních údajů podle následujících vztahů:

$$R_{Ft,w} = \frac{R_{F,w}}{2} + \frac{R_{f,w}}{2} + \Delta R_{Ff,w} + K_{Ft} + 10 \log \frac{S_s}{l_0 \cdot l_f} \quad (46)$$

$$R_{Fd,w} = \frac{R_{F,w}}{2} + \frac{R_{s,w}}{2} + \Delta R_{Fd,w} + K_{Fd} + 10 \log \frac{S_s}{l_0 \cdot l_f} \quad (47)$$

$$R_{Df,w} = \frac{R_{s,w}}{2} + \frac{R_{f,w}}{2} + \Delta R_{Df,w} + K_{Df} + 10 \log \frac{S_s}{l_0 \cdot l_f} \quad (48)$$

kde

$R_{F,w}$  je vážená neprůzvučnost bočního prvku  $F$  v místnosti zdroje, v decibelech;

$R_{f,w}$  vážená neprůzvučnost bočního prvku  $f$  v místnosti příjmu, v decibelech;

$\Delta R_{Ff,w}$  celkové zlepšení vážené neprůzvučnosti přídavným obložením na straně zdroje zvuku nebo na straně příjmu zvuku bočního prvku, v decibelech;

$\Delta R_{Fd,w}$  celkové zlepšení vážené neprůzvučnosti přídavným obložením na bočním prvkem na straně zdroje zvuku nebo na dělicím prvkem na straně příjmu zvuku, v decibelech;

$\Delta R_{Df,w}$  celkové zlepšení vážené neprůzvučnosti přídavným obložením na dělicím prvkem na straně zdroje zvuku a/nebo na bočním prvkem na straně příjmu zvuku, v decibelech;

$K_{Ff}$  styková neprůzvučnost vibrací pro cestu přenosu  $F_f$ , v decibelech;

$K_{Fd}$  styková neprůzvučnost vibrací pro cestu přenosu  $F_d$ , v decibelech;

$K_{Df}$  styková neprůzvučnost vibrací pro cestu přenosu  $D_f$ , v decibelech;

$S_s$  plocha dělicího prvku, v čtverečních metrech;

$l_f$  společná délka styku mezi dělicím prvkem a bočními prvky  $F$  a  $f$ , v metrech;

$l_0$  referenční styčná délka;  $l_0 = 1$  m.

**Styková neprůzvučnost vibrací**

Stykové neprůzvučnosti chvění se stanoví v závislosti na plošné hmotnosti konstrukcí  $m'$  [kg/m'] tvořících styk. Při tom je třeba rozlišovat tvary styků. Dále se předpokládá, že protilehlé dvojice konstrukcí mají stejnou plošnou hmotnost a jsou navzájem pevně spojeny (slepeny) maltou nebo sádrou.

K výpočtu je třeba nejdříve stanovit hodnotu pomocného parametru  $M$ :

$$M = \log \frac{m'_{i'}}{m'_{i''}} \quad (49)$$

kde je:

$m'_{i'}$  plošná hmotnost [kg/m'] prvku  $i$  v cestě přenosu  $ij$ , kde  $ij = F_f, F_d, D_{fi}$

$m'_{i''}$  plošná hmotnost [kg/m'] jiného kolmého prvku tvořícího styk.

Stykové neprůzvučnosti chvění se pak stanoví podle vztahů:

- tuhý křížový styk:

$$K_{13} = 8,7 + 17,1 \times M + 5,7 \times M^2 \quad (50)$$

$$K_{12} = 8,7 + 5,7 \times M^2 \quad (51)$$

- styk tvaru písmene T:

$$K_{13} = 5,7 + 14,1 \times M + 5,7 \times M^2 \quad (52)$$

$$K_{12} = 5,7 + 5,7 \times M^2 \quad (53)$$

- styk s lehkou fasádou:

$$K_{13} = 5 + 10 \times M \quad (54)$$

$$K_{12} = 10 + 10 \times M \quad (55)$$

**Vstupní údaje**

Akustické údaje o příslušných prvcích by měly být především čerpány z normalizovaných laboratorních měření. Lze je však též odvodit jinak, pomocí teoretických výpočtů, empirických odhadů nebo měření v budovách. Zdroje použitých údajů musí být jasně uvedeny.

**Přesnost**

Predikce pomocí zjednodušeného modelu vykazují směrodatnou odchylku kolem 2 dB s tendencí mírného nadhodnocení zvukové izolace. Při používání predikcí se doporučuje obměna vstupních údajů, zvláště ve složitých situacích a s atypickými prvky s nejistými vstupními údaji. Výsledné změny výsledků poskytují představu o očekávané přesnosti pro tyto situace, za předpokladu podobného zpracování.

## 4 VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE

Výsledky práce lze nalézt v následujících příslušných kapitolách podle stanovených cílů.

### Cíl

- 1 Experimentální zjištění a vyhodnocení vzduchové neprůzvučnosti vybraných svislých dělicích konstrukcí v budově skeletu - kapitola 4.1, příloha 8.1 a příloha 8.2.
- 2 Predikce stanovení hodnoty vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$  metodou technickou - vlastní výpočet - kapitoly 4.4.1, 4.4.3.
- 3 Predikce stanovení hodnoty vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$  metodou technickou - za pomoci software Neprůzvučnost - kapitoly 4.4.2, 4.4.4.
- 4 Predikce stanovení hodnoty vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$  metodou provozní - kapitola 4.4.5, 4.4.6
- 5 Predikce stanovení hodnoty vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$  výpočtním modelem podle EN 12354-1 - kapitola 4.4.7, 4.4.8.
- 6 Příklad zlepšení neprůzvučnosti konstrukce - predikce - kapitola 4.5.
- 7 Stanovení příčin diferencí mezi predikcí a naměřenými parametry in-situ a vyhodnocení vlivu bočních cest šíření zvuku v monolitickém skeletu na stavební váženou neprůzvučnost jednoduché dělicí konstrukce - kapitola 4.6.
- 8 Sestavení názorné metodiky měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi v budovách - příloha 8.3.

Souhrnně jsou pak výsledky cílů 1 až 5 přehledně uvedeny v kapitole 4.1, *Tabulka 3*, *Tabulka 4*.

## 4.1 Vyhodnocení vzduchové neprůzvučnosti v řešeném skeletu

Konkrétní protokoly s výsledky měření vzduchové neprůzvučnosti dělicích konstrukcí v budově skeletu včetně kmitočtových průběhů jsou patrné z přílohy 8.1 a 8.2.

Tabulka 3 - Porovnání vzduchové neprůzvučnosti dělicích konstrukcí mezi učebnami

					R'w (C; Ctr) [dB]			Rw (C; Ctr) [dB]			
	č. místn.	kce	tl. [mm]	typ místn	požadavek normy [11]	naměřená	Predikce dle [63]	Dle výrobce	Predikce technickou metodou vypočítaná	Predikce technickou metodou - SW Neprůzvučnost	Predikce provozní metodou
*1	lpi 201-202	PoroTherm 11,5 AKU + omítka	145	učebna / učebna	47	41 (-1; -3)	42	47 (-2; -5)	43 (-1; -3)	43 (-1; -3)	43
2	lpi 202-203				47	40 (-1; -3)					
*3	lpi 203-204				47	40 (-1; -4)					
4	lpi 205-204				47	41 (-1; -4)					
*5	lpi 301-302				47	39 (0; -3)					
6	lpi 303-302				47	38 (-1; -3)					
*7	lpi 304-303				47	43 (-1; -4)					
8	lpi 305-304				47	40 (-1; -4)					
*9	lpi 401-402				47	39 (0; -3)					
10	lpi 402-403				47	36 (0; -2)					
*11	lpi 403-404				47	37 (0; -3)					
12	lpi 405-404				47	40 (-1; -4)					
*13	lpi 501-502				47	39 (0; -3)					
14	lpi 503-502				47	36 (0; -3)					
*15	lpi 504-503				47	39 (0; -3)					
16	lpi 505-504				47	40 (-1; -2)					
					Ø	39,6					
					Ø	38,8					

Tabulka 4 - Porovnání vzduchové neprůzvučnosti dělicích konstrukcí mezi kanceláři

					R'w (C; C <sub>tr</sub> ) [dB]			Rw [dB]			
	č . místn.	k c e	tl. [mm]	typ místn	požadavek normy [11]	naměřená	Predikce dle [63]	*dle vý- robce	Predikce technickou metodou vypočítaná	Predikce technickou metodou - SW Neprůzvučnost	Predikce provozní metodou
*1	lph 302-301	Poro- therm 11,5 P+D + omítka	145	kancelář / kancelář	37	43 (-1; -3)	39	44	40 (-1; -4)	40 (-1; -4)	40
*2	lph 304-305/1				37	42 (-1; -4)					
*2	lph 305/2-305/1				37	41 (-1; -3)					
4	lph 305/2-305/3				37	33 (-1; -3)					
*5	lph 306/1-305/3				37	40 (-1; -4)					
6	lph 306/2-306/1				37	33 (-1; -4)					
*7	lph 306/2-306/3				37	41 (-1; -4)					
8	lph 307/1-306/3				37	35 (-1; -3)					
*9	lph 307/2-307/1				37	40 (-1; -4)					
10	lph 307/2-307/3				37	29 (-2; -5)					
					Ø	41,1					
					Ø	32,5					

Poznámka:

Konstrukce označené \* (šedý podtext) jsou vyžděny v rámu skeletu. Jedná se o situaci viz *Obrázek 11*, *Obrázek 12*.

#### **4.1.1 Komentář k vyhodnocení vzduchové neprůzvučnosti dělicích stěn Porotherm 11,5 AKU mezi učebnami (Tabulka 3)**

Jak je patrné z výsledků měření, požadované hodnotě **47 dB** nevyhověla žádná ze zkoumaných konstrukcí! Příčky, které dosahují nejnižších hodnot splňují požadovanou hodnotu pouze ze 77 %. Příčky s nejlepšími naměřenými parametry splňují požadovanou hodnotu pouze z 87 %.

Měřením bylo dokázán předpoklad, že pokud je umístěna příčka v rámu skeletu - viz *Obrázek 11*, *Obrázek 12* (v tabulce vyznačeny \*), dosahuje lepších zvukoizolačních parametrů  $R'w$  - průměrně 39,6 dB. Rozptyl naměřených hodnot je  $\pm 6$  dB, tj. 14 %. Pro situaci v rámu skeletu je rovněž zapotřebí uvažovat s lepšími výslednými hodnotami i v rámci predikce. Jak vyplývá z výsledků výpočtu složené konstrukce podle 8.3.4, výsledná hodnota  $Rw = 44$  dB.

Pro situaci, kdy je příčka mimo rám skeletu (pružně napojena na lehkou fasádu) dosahuje dle výsledků měření průměrně  $R'w = 38,8$  dB. Rozptyl naměřených hodnot je  $\pm 5$  dB, tj. 10 %.

Podle vztahu (9) je při porovnávání hodnot  $Rw$  (laboratorních) a  $R'w$  (stavebních) třeba uvažovat s korekcí (odečtem) na boční cesty šíření zvuku v rozsahu  $k_1 = 2$  až 5 dB. Z porovnání výsledků  $Rw$  spočítaných predikcí s naměřenými daty vyplývá, že korekce pro situace, které byly podrobeny zkoumání se bude opravdu pohybovat v rozmezí 2 až 5 dB, jak je doporučeno pro vyždívané konstrukce ve skeletech.

Hodnota  $Rw$  udávaná výrobcem je o 8 % vyšší než hodnota  $Rw$  získaná predikcí dle dostupných metod.

#### **4.1.2 Komentář k vyhodnocení vzduchové neprůzvučnosti dělicích stěn Porotherm 11,5 P+D mezi kanceláři (Tabulka 4)**

Výsledky měření mezi kanceláři jsou optimističtější. Požadované hodnotě **37 dB** vyhovělo **60 %** zkoumaných konstrukcí.

Všechny příčky v rámu skeletu splňují požadované hodnoty. Zjištěný matematický průměr je 41,1 dB, rozptyl naměřených hodnot je  $\pm 3$  dB, tj. 7 %. Pro situaci v rámu skeletu je rovněž zapotřebí uvažovat s lepšími výslednými hodnotami i v rámci predikce. Jak vyplývá z výsledků výpočtu složené konstrukce podle 8.3.5, výsledná hodnota  $Rw = 41$  dB.

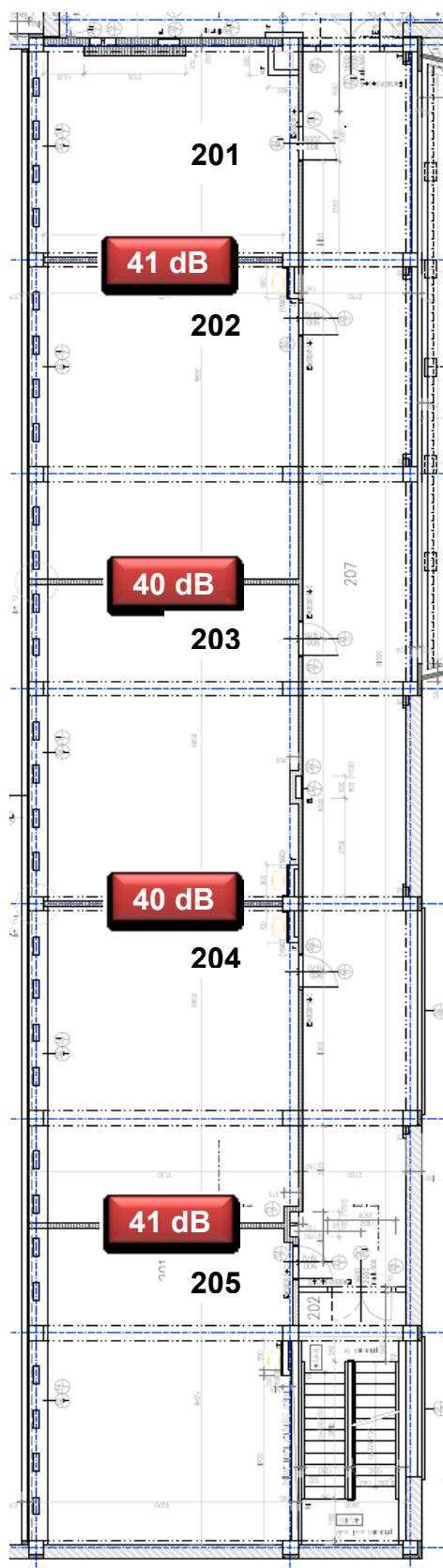
Dělicí konstrukce mimo rám skeletu dosahují dle výsledků měření průměrně pouze  $R'w = 32,5$  dB. Rozptyl naměřených hodnot je  $\pm 6$  dB, tj. 15 %. Tento výsledek je přisuzován nedostatečné péči provedení detailu napojení na lehkou fasádu.

Pokud se týká korekcí, pro měřené situace se budou pohybovat takto:  $k_1 < 2$  dB (6 případů z 10),  $k_1 = 5$  dB (1 případ z 10) a  $k_1 > 5$  dB (3 případy z 10).

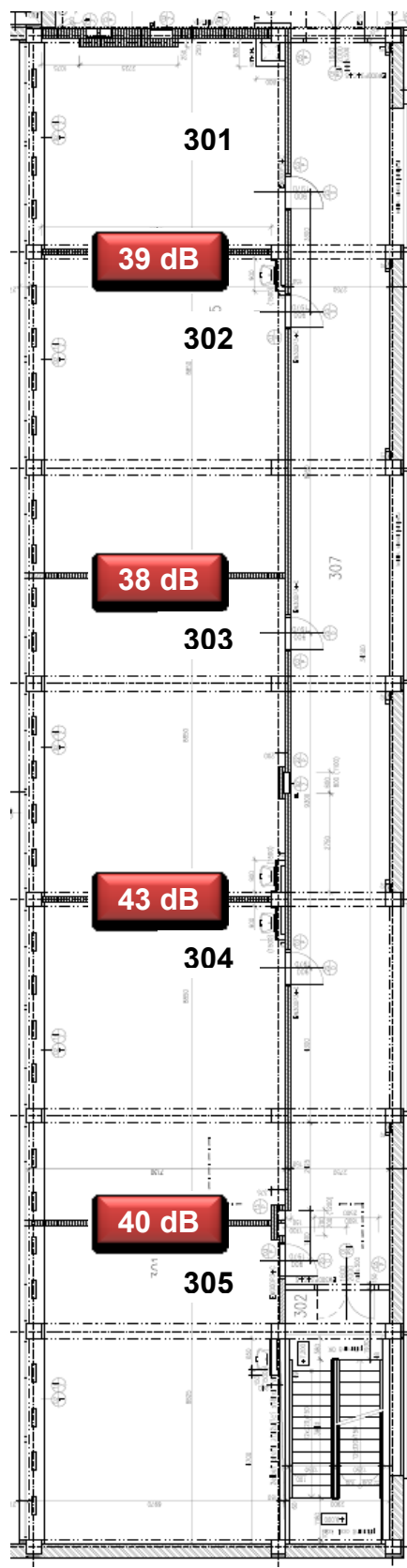
Hodnota  $Rw$  udávaná výrobcem je o 9 % vyšší než hodnota  $Rw$  získaná predikcí dle dostupných metod.



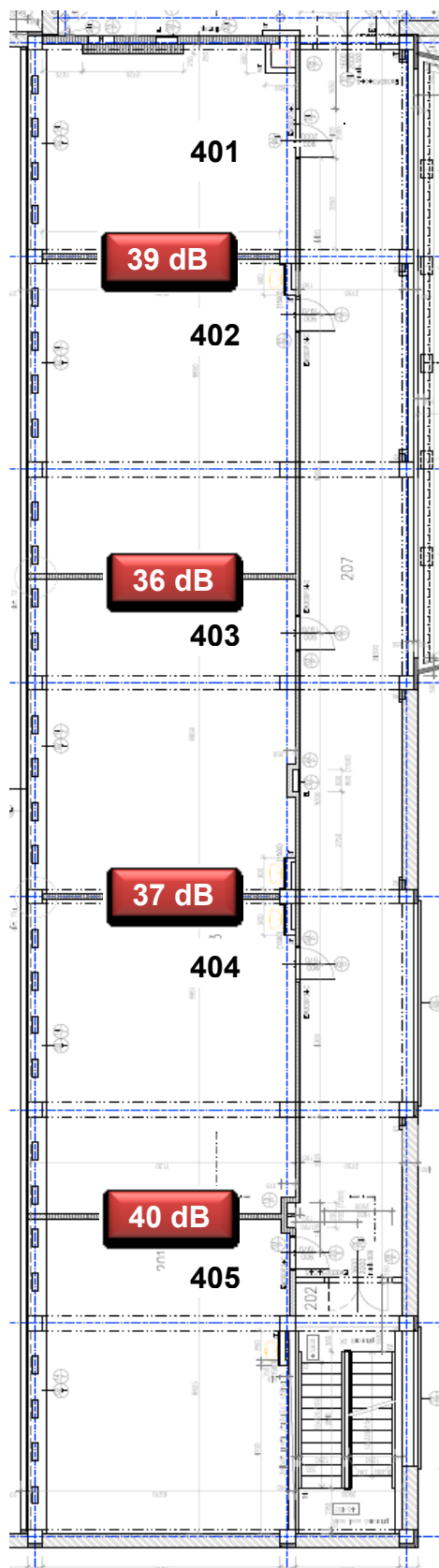
## 4.2 Grafické znázornění výsledků měření v půdorysech



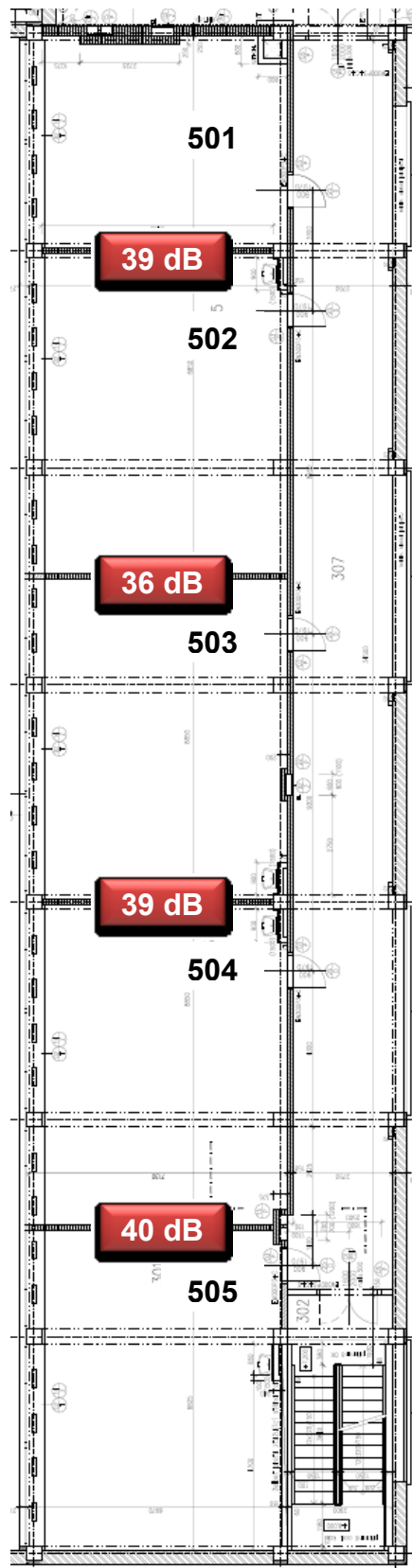
Obrázek 22 - Půdorys 2. np pavilonu I.  
Zdroj [18].



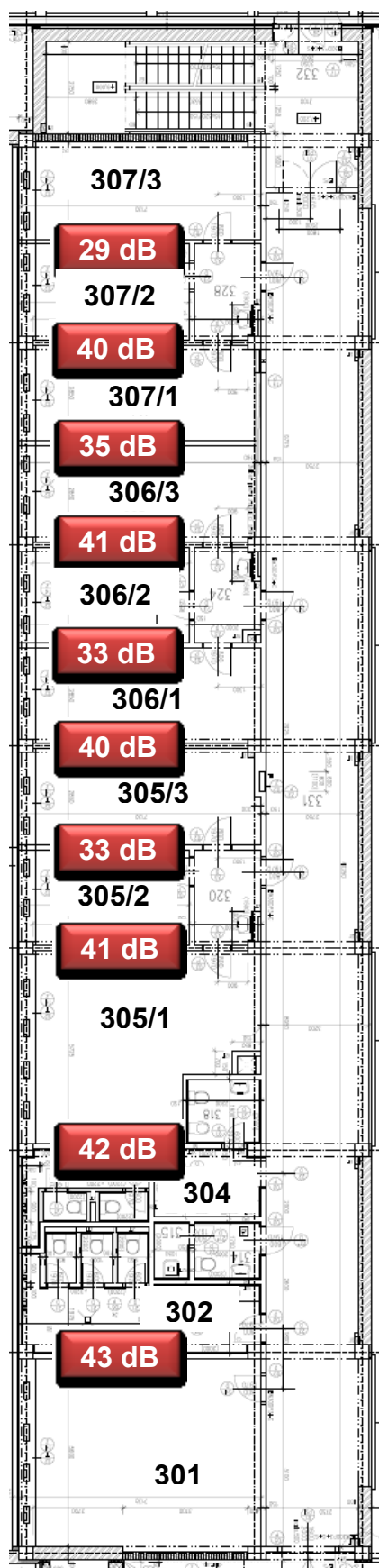
Obrázek 23 - Půdorys 3. np pavilonu I.  
Zdroj [18].



Obrázek 24 - Půdorys 4. np pavilonu I.  
Zdroj [18].



Obrázek 25 - Půdorys 5. np pavilonu I.  
Zdroj [18].



Obrázek 26 - Půdorys 3. np pavilonu H. Zdroj [18].

### 4.3 Akustické vlastnosti dle výrobce

Při projekčním návrhu dělicích konstrukcí z materiálů běžně dostupných na trhu je prvotní krok zodpovědného projektanta nahlédnutí do výrobcem deklarovaných akustických parametrů konstrukcí - Obrázek 27, Obrázek 28.

#### 4.3.1 Akustické vlastnosti tvárnice Porotherm 11,5 AKU

## POROTHERM 11,5 AKU

Akusticky dělicí nosná stěna

CIHLA NA KLASICKOU MALTU

### Použití

Cihly POROTHERM 11,5 AKU se používají pro omítnuté zdivo vnitřních příček tloušťky 115 mm s vyššími nároky na zvukovou izolaci, případně pro vnější omítnutou část obvodového vrstveného zdiva v kombinaci s tepelným izolantem a vnitřní nosnou částí.

### Výhody

- ideální spojení na pero a drážku
- jednoduché a velmi rychlé zedění
- minimální spotřeba malty
- ideální podklad pod omítku
- nízký odpor proti difuzi vodních par
- výborná ochrana proti hluku
- hygienicky nezávadné
- rozměry v modulovém systému
- snadné navrhování a stavění v kompletním systému POROTHERM

### Technické údaje

**Cihly:**

- rozměry d/š/v 497x115x238 mm
- skupina zdicích prvků 2
- objem, hmot. prvku 1050 kg/m³
- hmotnost cca 14,4 kg/ks
- pevnost v tlaku (kat. I) 15/10 N/mm²
- nasákavost NPD
- mrazuvzdornost NPD (F0)
- obsah akt. rozpust. solí NPD (S0)
- rozměrová stabilita NPD
- přídržnost 0,15 N/mm²

NPD – není stanoven žádný požadavek

**Zdivo:**

- tloušťka 115 mm
- spotřeba cihel 8 ks/m²
- spotřeba malty 9 l/m²

### Zvuková izolace zdiva\*

- nutno se řídit vysvětlivkami uvedenými v kapitole 1, strana 13 až 15

Vážená laboratorní neprůzvučnost  $R_w = 47$  (-2; -5) dB při plošné hmotnosti zdiva včetně omítek tl. 15 mm 175 kg/m²

\* hodnota stanovena výpočtem

### Tepelně-technické údaje

zdivo na maltu	u %	$\lambda_u$ W/mK	$R_u$ m²K/W	$U_{tot}$ W/m²K
obvyčejnou ( $\lambda_u = 0,83$ W/mK)				
bez omítek	0	0,32	0,36	1,60
bez omítek	0,5	0,33	0,35	1,65
s omít. obyč.*	0,5	0,38	0,38	1,55

\* oboustranná vápno-cementová omítko tl. 15 mm

### Požární odolnost

Požárně dělicí stěna s oboustrannou omítkou  
Třída reakce na oheň: A1 – nehořlavé  
Požární odolnost: EI 180 DP1  
(ČSN EN 13501-2, ČSN EN 1996-1-2)

### Ostatní stavebně fyzikální hodnoty

Měrná tepelná kapacita neomítnutého zdiva  $c = 1000$  J/kg·K  
Faktor difuzního odporu  $\mu = 5/10$   
(ČSN EN 1745)

### Směrná pracnost zedění

cca 0,54 hod/m²


### Doplňkové cihly

Pro ukončování vazby zdiva z cihel POROTHERM 11,5 AKU se tyto cihly dělí na poloviny nebo čtvrtiny, případně lze použít cihel 2 DF, resp. CDM nebo 1 NF.

### Dodávka


Cihly POROTHERM 11,5 AKU jsou dodávány zafóliované na vratných paletách rozměrů 1180 x 1000 mm.

- počet cihel 96 ks/pal
- hmotnost palety cca 1415 kg



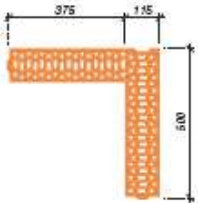
ČSN EN 771-1

**POROTHERM 11,5 AKU**

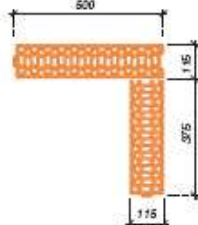


**VAZBA ROHŮ, KOUTŮ A OSTENÍ**

1. vrstva



2. vrstva



Obrázek 27 - Katalogový list materiálu Porotherm 11,5 AKU dle výrobce. Zdroj [19].

Výrobce deklaruje (laboratorní) hodnotu  $R_w = 47$  dB. Podle vztahu (9) je třeba uvažovat s korekcí (odečtem) na boční cesty šíření zvuku v rozsahu  $k_1 = 2$  až 5 dB. Při zohlednění korekce bude tedy výsledná hodnota  $R'w = 42$  až 45 dB.

## 4.3.2 Akustické vlastnosti tvárnice Porotherm 11,5 P+D

## POROTHERM 11,5 P+D

Nenosná příčka

CIHLA NA KLÁSICKOU MALTU

**Použití**

Cihly POROTHERM 11,5 P+D se používají pro omtané zdivo vnitřních příček tloušťky 115 mm, případně pro vnější omtanou část obvodového vrstveného zdiva v kombinaci s tepelným izolantem a vnitřní nosnou částí. Lze je též použít jako přízdívku tepelné izolace v místě železobetonových ztužujících věnců.

**Výhody**

- ideální spojení na pero a drážku
- jednoduché a rychlé zdění
- minimální spotřeba malty
- ideální podklad pod omítku
- nízký odpor proti difuzi vodních par
- hygienicky nezávadné
- rozměry v modulovém systému
- snadné navrhování a stavění v kompletním systému POROTHERM

**Technické údaje**

**Cihly:**

- rozměry d/š/v 497x115x238 mm
- skupina zdících prvků 2
- objem hmot. prvku 870 kg/m³
- hmotnost cca 11,8 kg/ks
- pevnost v tlaku (kat. I) 10/8 N/mm²
- nasákavost NPD
- mrazuvzdornost NPD (F0)
- obsah akt. rozpust. solí NPD (S0)
- rozměrová stabilita NPD
- přídržnost 0,15 N/mm²

NPD – není stanovena žádná požadavek

**Zdivo:**

- tloušťka 115 mm
- spotřeba cihel 8 ks/m²
- spotřeba malty 11 l/m²

**Zvuková izolace zdiva\***

- nutno se řídit vysvětlivkami uvedenými v kapitole 1, strana 13 až 15

Vážená laboratorní neprůzvučnost  $R_w = 44$  dB při plošné hmotnosti zdiva včetně omítek tl. 15 mm 158 kg/m²

\* hodnota stanovena výpočtem

**Tepelně-technické údaje**

zdivo na maltu	$\mu$ %	$\lambda_{01}$ W/mK	$R_{01}$ m²K/W	$U_{01}$ W/m²K
obyčejnou ( $\lambda_{01}=0,83$ W/mK)	0	0,34	0,34	1,65
bez omítek	0,5	0,35	0,33	1,70
s omítk. obyč.*	0,5	0,38	0,38	1,55

\* oboustranná výpencementová omíтка tl. 15 mm

**Požární odolnost**

Požární dělicí nenosná stěna s oboustrannou omítkou

Třída reakce na oheň: A1 – nehořlavé

Požární odolnost: EI 180 DP1 (ČSN EN 13501-2, ČSN EN 1996-1-2)

**Ostatní stavební fyzikální hodnoty**

Měrná tepelná kapacita neomítnutého zdiva  $c = 1000$  J/kg·K

Faktor difuzního odporu  $\mu = 5/10$  (ČSN EN 1745)

**Směrná pracnost zdění**

cca 0,54 hod/m²

**Doplňkové cihly**

Pro ukončování vazby zdiva z cihel POROTHERM 11,5 P+D se tyto cihly dělí na poloviny nebo čtvrtiny, případně lze použít cihel 2 DF, resp. CDm nebo 1 NF.

**Dodávka**

Cihly POROTHERM 11,5 P+D jsou dodávány zatíčovány na vratných paletách rozměrů 1180 x 1000 mm.

- počet cihel 96 ks/pal
- hmotnost palety cca 1165 kg

**3D modely:**

- 3D model cihly
- 3D model vazby rohů, koutů a ostění
- 3D model 1. vrstvy
- 3D model 2. vrstvy

**2D schémata:**

- 2D schéma cihly
- 2D schéma vazby rohů, koutů a ostění
- 2D schéma 1. vrstvy
- 2D schéma 2. vrstvy

**Změny technických údajů vyhrazeny.** Odkaz na způsob zabudování (zdění) se rozumí jako doporučení výrobce, toto vychází ze současného stavu našich poznatků ověřených v praxi. Vydáním tohoto informačního listu ztrácí všechny předchozí svou platnost.

**POROTHERM**

Obrázek 28 - Katalogový list materiálu Porotherm 11,5 P+D dle výrobce. Zdroj [19].

Výrobce deklaruje (laboratorní) hodnotu  $R_w = 44$  dB. Podle vztahu (9) je třeba uvažovat s korekcí (odečtem) na boční cesty šíření zvuku v rozsahu  $k_1 = 2$  až 5 dB. Při zohlednění korekce se bude tedy výsledná hodnota  $R'w$  pohybovat v rozmezí 39 až 42 dB.



## 4.4 Teoretické posouzení

Další z možností, jak posoudit vzduchovou neprůzvučnost ve fázi návrhu, je využít příslušných predikčních metod.

Měřené případy byly posouzeny podle:

- Wattersovy (technické) metody ručním výpočtem,
- Wattersovy (technické) metody strojním výpočtem za pomoci programu Neprůzvučnost,
- provozní metody,
- výpočtového modelu popsaného v ČSN EN 12354-1 [15] ručním výpočtem.

Abychom mohli zodpovědně posoudit konstrukci, je nutné si od výrobce vyžádat příslušné údaje potřebné k výpočtu - *Obrázek 29*. Tyto parametry totiž nejsou běžně dostupné v komerčních podkladech.

Vážený pane Oravče,

zde jsou požadované údaje k příčkovkám:

POROTHERM 11,5 AKU (Holice)

$\rho_0 = 1450 \text{ kg/m}_3$   
 $c_L = 1550 \text{ m/s}$   
 $E_d = 3458 \text{ MPa}$   
 $\eta = 0,011$

POROTHERM 11,5 P+D (Novosedly)

$\rho_0 = 1460 \text{ kg/m}_3$   
 $c_L = 2175 \text{ m/s}$   
 $E_d = 7018 \text{ MPa}$   
 $\eta = 0,006$

S pozdravem  
 Antonín Horský

*Obrázek 29 - Akustické parametry tvárnic Porotherm dle výrobce. Zdroj: e-mail.*

Vstupní parametry výpočtů pro tloušťku stěn  $h = 0,145 \text{ m}$ :

- plošná hmotnost  $m'$  ( $\text{kg.m}^{-2}$ ) - určena z katalogových podkladů od výrobce (*Obrázek 27*, *Obrázek 28*), neboť se jedná o hodnotu včetně omítek. Pro Porotherm 11,5 AKU  $m' = 175 \text{ kg.m}^{-2}$ , pro Porotherm 11,5 P+D  $m' = 158 \text{ kg.m}^{-2}$ .
- objemová hmotnost  $\rho$  ( $\text{kg.m}^{-3}$ ) - vypočítána z katalogových podkladů od výrobce (*Obrázek 27*, *Obrázek 28*) dosazením plošné hmotnosti do vztahu (18). Pro Porotherm 11,5 AKU  $\rho = 1207 \text{ kg.m}^{-3}$ , pro Porotherm 11,5 P+D  $\rho = 1090 \text{ kg.m}^{-3}$ .
- rychlost podélných zvukových vln  $c$  ( $\text{m.s}^{-1}$ ) - převzata z e-mailu (*Obrázek 29*). Pro Porotherm 11,5 AKU  $c = 1550 \text{ m.s}^{-1}$ , pro Porotherm 11,5 P+D  $c = 2175 \text{ m.s}^{-1}$ .
- dynamický modul pružnosti  $E_d$  (MPa) - převzat z e-mailu (*Obrázek 29*). Pro Porotherm 11,5 AKU  $E_d = 3458 \text{ MPa}$ , pro Porotherm 11,5 P+D  $E_d = 7018 \text{ MPa}$ .
- ztrátový činitel  $\eta$  (-) - převzat z e-mailu (*Obrázek 29*). Pro Porotherm 11,5 AKU  $\eta = 0,011$ , pro Porotherm 11,5 P+D  $\eta = 0,006$ .

#### 4.4.1 Vzduchová neprůzvučnost stěny z tvárnic Porotherm 11,5 AKU dle Wattersovy (technické) metody - ruční výpočet

Vzduchová neprůzvučnost byla vypočítána dosazením do vzorců podle kapitoly 3.4.5. Pro ověření správnosti ručního výpočtu a za účelem vyloučení početní chyby byly vzorce vloženy do tabulkového procesoru Microsoft Excel 2010.

Základní rezonanční kmitočet podle vztahu (17) je nižší než 100 Hz:

$$f_0 = 0,45 \times 1550 \times 0,145 \times \left[ \left( \frac{1}{7,13} \right)^2 + \left( \frac{1}{3,15} \right)^2 \right] = 12,18 \text{ Hz} \quad (56)$$

Kritický kmitočet podle vztahu (26):

$$f_{cr} = \frac{63734}{1550 \times 0,145} = 283,6 \text{ Hz} \quad (57)$$

Zlomové kmitočty podle vztahu (28) až (30):

$$f_A = 0,4 \times 283,6 \times 0,011^{0,1} = 72,26 \text{ Hz} \quad (58)$$

$$\text{kde } x = 1,33 \times 0,011^{-0,157} = 2,7 \quad (59)$$

$$f_B = 2^{2,7} \times 72,26 = 469,5 \text{ Hz}$$

$$f_C = 2 \times 469,5 = 939 \text{ Hz} \quad (60)$$

Plošná hmotnost podle (19):

$$m' = 1207 \times 0,145 = 175 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \quad (61)$$

Neprůzvučnost v místě A podle (20):

$$R_a = 20 \cdot \log(175 \cdot 72,26) - 47,5 = 34,54 \text{ dB} \quad (62)$$

Výpočet je proveden v tabulce (Obrázek 30) a vypočtené hodnoty vyneseny do normalizovaného diagramu (Obrázek 31).

$X_{aj}$  podle (11):

$$X_{a1} = -10 \cdot \log 0,000649 = -41,9 \text{ dB} \quad (63)$$

$$X_{a2} = -10 \cdot \log 0,00011 = -39,6 \text{ dB} \quad (64)$$

Faktory přizpůsobení spektru podle vztahu (10)

$$C = 41,9 - 43 = -1,1 \quad (65)$$

$$C_{tr} = 39,6 - 43 = -3,4$$

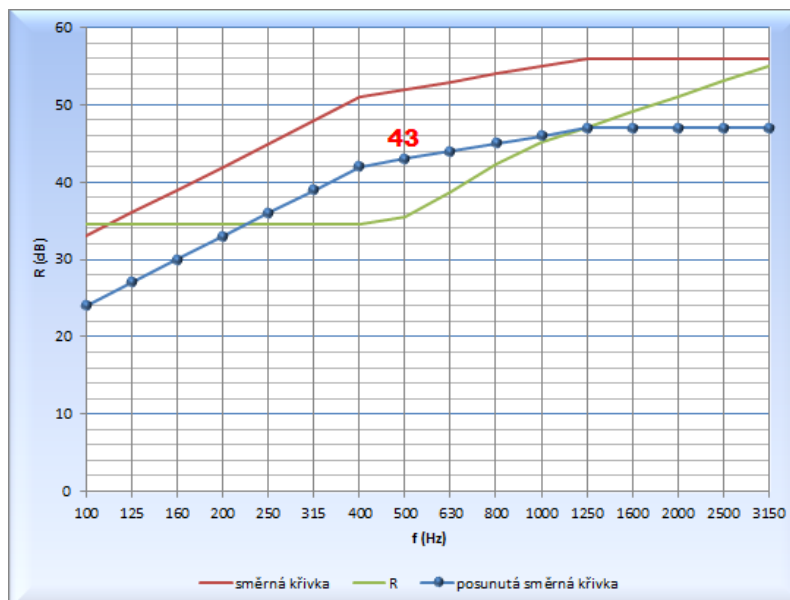
### Výpočet vzduchové neprůzvučnosti jednoduché konstrukce Wattersova metoda (technická metoda)

vstupní data			$R_w$				
objemová hmotnost	$\rho$	1207 kg/m <sup>3</sup>	F (Hz)	OBLAST			
rychlost podélných zv. vln	$c$	1550 m/s		I.	II.	III.	IV.
ztrátový činitel	$\eta$	0,011	100	37,4	34,5	12,2	25,1
tloušťka konstrukce	$h$	0,145 m	125	39,3	34,5	15,4	27,0
délka stěny	$l_x$	7,13 m	160	41,4	34,5	19,0	29,2
výška stěny	$l_y$	3,15 m	200	43,4	34,5	22,2	31,1
			250	45,3	34,5	25,4	33,0
základní rezonanční kmitočet	$f_0$	12,18 Hz	315	47,3	34,5	28,8	35,1
kritický kmitočet	$f_{cr}$	283,6 Hz	400	49,4	34,5	32,2	37,1
	$f_a$	72,26 Hz	500	51,3	34,5	35,5	39,1
	$f_b$	469,5 Hz	630	53,3	34,5	38,8	41,1
	$f_c$	939 Hz	800	55,4	34,5	42,3	43,1
			1000	57,4	34,5	45,5	45,1
počet oktáv v int. mezi kmitočty $f_a$ , $f_b$	$x$	2,7	1250	59,3	34,5	48,7	47,0
plošná hmotnost	$m'$	175 kg.m <sup>-2</sup>	1600	61,4	34,5	52,3	49,2
neprůzvučnost v místě a	$R_a$	34,54 dB	2000	63,4	34,5	55,5	51,1
	$R_c$	44,54 dB	2500	65,3	34,5	58,7	53,0
			3150	67,3	34,5	62,1	55,1

posun křivek směrem dolů o	9 dB	F (Hz)	Sk	F (Hz)	oblast	R (dB)	Rref	R-Rref	R-Rref	$L_1$ (dB)	$L_1$ -R(dB)	$L_2$ (dB)	$L_2$ -R(dB)
		100	33		2	34,5	24	10,5	0,0	-29,0	-63,5	-20,0	-54,5
		125	36		2	34,5	27	7,5	0,0	-26,0	-60,5	-20,0	-54,5
vzduchová neprůzvučnost $R_w$	43 dB	160	39		2	34,5	30	4,5	0,0	-23,0	-57,5	-18,0	-52,5
		200	42		2	34,5	33	1,5	0,0	-21,0	-55,5	-16,0	-50,5
faktor přizpůsobení spektru C	-1,1 dB	250	45	$f_{cr}$	2	34,5	36	-1,5	-1,5	-19,0	-53,5	-15,0	-49,5
faktor přizpůsobení spektru $C_v$	-3,4 dB	315	48		2	34,5	39	-4,5	-4,5	-17,0	-51,5	-14,0	-48,5
		400	51		2	34,5	42	-7,5	-7,5	-15,0	-49,5	-13,0	-47,5
		500	52	$f_b$	3	35,5	43	-7,5	-7,5	-13,0	-48,5	-12,0	-47,5
		630	53		3	38,8	44	-5,2	-5,2	-12,0	-50,8	-11,0	-49,8
		800	54	$f_c$	3	42,3	45	-2,7	-2,7	-11,0	-53,3	-9,0	-51,3
		1000	55		4	45,1	46	-0,9	-0,9	-10,0	-55,1	-8,0	-53,1
		1250	56		4	47,0	47	0,0	0,0	-9,0	-56,0	-9,0	-56,0
		1600	56		4	49,2	47	2,2	0,0	-9,0	-58,2	-10,0	-59,2
		2000	56		4	51,1	47	4,1	0,0	-9,0	-60,1	-11,0	-62,1
		2500	56		4	53,0	47	6,0	0,0	-9,0	-62,0	-13,0	-66,0
		3150	56		4	55,1	47	8,1	0,0	-9,0	-64,1	-15,0	-70,1
suma $\Delta$										29,799	<32 dB	6E-05	0,0001
											41,9		39,6

Obrázek 30 - Náhled do zadaných a vypočtených parametrů pro Porotherm 11,5 AKU v programu MS Excel 2010.



Obrázek 31 - Graf neprůzvučnosti pro Porotherm 11,5 AKU v programu MS Excel 2010.

Podle ručního výpočtu je výsledek neprůzvučnosti pro modelový případ  $R_w = 43$  dB - viz Obrázek 31. Po odečtení korekcí podle vztahu (9) vychází výsledná (stavební) vzduchová neprůzvučnost  $R'w$  v rozmezí 38 až 41 dB.



#### 4.4.2 Akustické parametry stěny z tvárnic Porotherm 11,5 AKU dle Wattersovy (technické) metody - program Neprůzvučnost

### TEORETICKÝ VÝPOČET VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

dle J. Čechura: Stavební fyzika 10, ČVUT 1997 a ČSN EN ISO 717-1 a ČSN EN ISO 717-2 (1998)

#### Neprůzvučnost 2005

Název úlohy : Porotherm 115 aku + omítky  
Zpracovatel : Pavel Oravec  
Zakázka : Disertační práce  
Datum : 8. 8. 2011

#### KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:

##### Základní parametry úlohy:

Typ konstrukce : jednoduchá jednovrstvá  
Typ výpočtu : vážená neprůzvučnost (index vzduch. neprůzvučnosti)  
Korekce k : 2,0 dB

##### Zadané vrstvy konstrukce (od chráněné místnosti):

číslo	Název	D [m]	Ro [kg/m <sup>3</sup> ]	c [m/s]	eta [-]	Ed [MPa] / alfa [-]
1	Porotherm 115	0,1450	1207,0	1550	0,011	3458

#### TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ:

Kmitočet Neprůzv. Ref. křivka Rozdíl

F [Hz]	R [dB]	Rref [dB]	deltaR [dB]
100	34,5	24	----
125	34,5	27	----
160	34,5	30	----
200	34,5	33	----
250	34,5	36	1,5
315	34,5	39	4,5
400	34,5	42	7,5
500	35,5	43	7,5
630	38,8	44	5,2
800	42,1	45	2,9
1000	45,1	46	0,9
1250	47,1	47	----
1600	49,1	47	----
2000	51,1	47	----
2500	53,1	47	----
3150	55,1	47	----
Součet:			29,9

Vážená neprůzvučnost (laboratorní)  $R_w$  : 43 dB  
Faktor přizpůsobení spektru C : -1 dB  
Faktor přizpůsobení spektru C, tr : -3 dB

Zápis dle ČSN EN ISO 717-1:  $R_w(C; C_{tr}) = 43(-1; -3)$  dB

**Předpokládaná vážená stavební neprůzvučnost  $R'_w$  : 41 dB**

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730532

Název konstrukce: Porotherm 115 AKU + omítky

Typ konstrukce: vnitřní příčka či strop (vzduchová neprůzvučnost)

Skladba konstrukce: uvedena v protokolu o výpočtu programu Neprůzvučnost

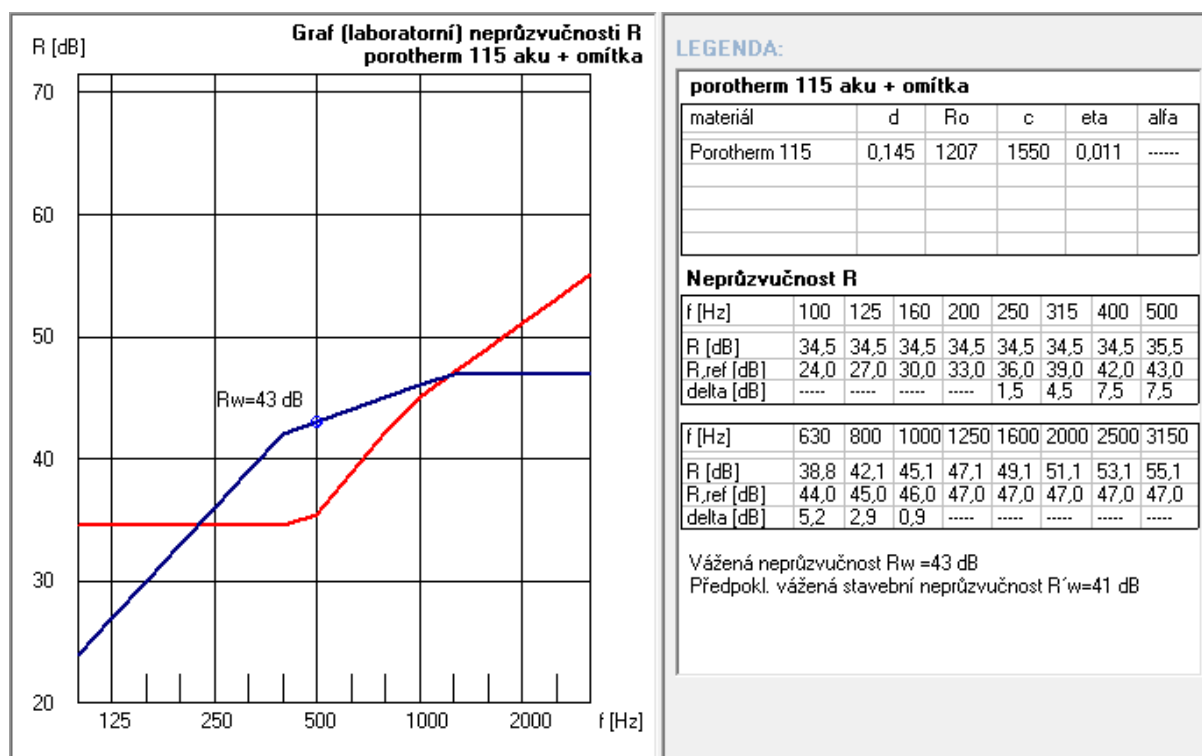
**Min. požadavek na váženou stavební neprůzvučnost**

(pro zvolené podmínky)  $R'w = 47 \text{ dB}$

Výsledek výpočtu  $R'w = 41 \text{ dB}$

Hodnota předpokládané vážené stavební neprůzvučnosti je menší než požadovaná hodnota.

**Konstrukce NESPLNÍ požadavky ČSN 730532.**



Obrázek 32 - Výsledek výpočtu konstrukce Porotherm 11,5 AKU z programu Neprůzvučnost.

Podle výpočetního programu Neprůzvučnost je tedy výsledek neprůzvučnosti pro oboustranně omítnutou stěnu z tvárnic Porotherm 11,5 AKU  $Rw = 43 \text{ dB}$ . Po odečtení korekcí podle vztahu (9) vychází výsledná (stavební) vzduchová neprůzvučnost  $R'w$  v rozmezí 38 až 41 dB.

#### 4.4.3 Akustické parametry stěny z tvárnic Porotherm 11,5 P+D dle Wattersovy (technické) metody - ruční výpočet

Vzduchová neprůzvučnost byla vypočítána dosazením do vzorců podle kapitoly 3.4.5. Pro ověření správnosti ručního výpočtu a za účelem vyloučení početní chyby byly vzorce vloženy do tabulkového procesoru Microsoft Excel 2010.

Základní rezonanční kmitočet podle vztahu (17) je nižší než 100 Hz:

$$f_0 = 0,45.2175.0,145. \left[ \left( \frac{1}{7,13} \right)^2 + \left( \frac{1}{3,15} \right)^2 \right] = 17,09 \text{ Hz} \quad (66)$$

Kritický kmitočet podle vztahu (26):

$$f_{cr} = \frac{63734}{2175.0,145} = 202,1 \text{ Hz} \quad (67)$$

Zlomové kmitočty podle vztahu (28) až (30):

$$f_A = 0,4.202,1.0,006^{0,1} = 48,46 \text{ Hz} \quad (68)$$

$$\text{kde } x = 1,33 \cdot 0,006^{-0,157} = 2,969 \quad (69)$$

$$f_B = 2^{2,7} \cdot 48,46 = 379,6 \text{ Hz}$$

$$f_C = 2.379,6 = 759,2 \text{ Hz} \quad (70)$$

Plošná hmotnost podle (19):

$$m' = 1090 \cdot 0,145 = 158,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \quad (71)$$

Neprůzvučnost v místě A podle (20):

$$R_a = 20 \log(158 \cdot 48,46) - 47,5 = 30,18 \text{ dB} \quad (72)$$

Výpočet je proveden v tabulce (Obrázek 30) a vypočtené hodnoty vyneseny do normalizovaného diagramu (Obrázek 31).

$X_{aj}$  podle (11):

$$X_{a1} = -10 \log 0,000126 = -39 \text{ dB} \quad (73)$$

$$X_{a2} = -10 \log 0,000233 = -36,3 \text{ dB} \quad (74)$$

Faktory přizpůsobení spektru podle (10)

$$C = 39 - 40 = -1 \quad (75)$$

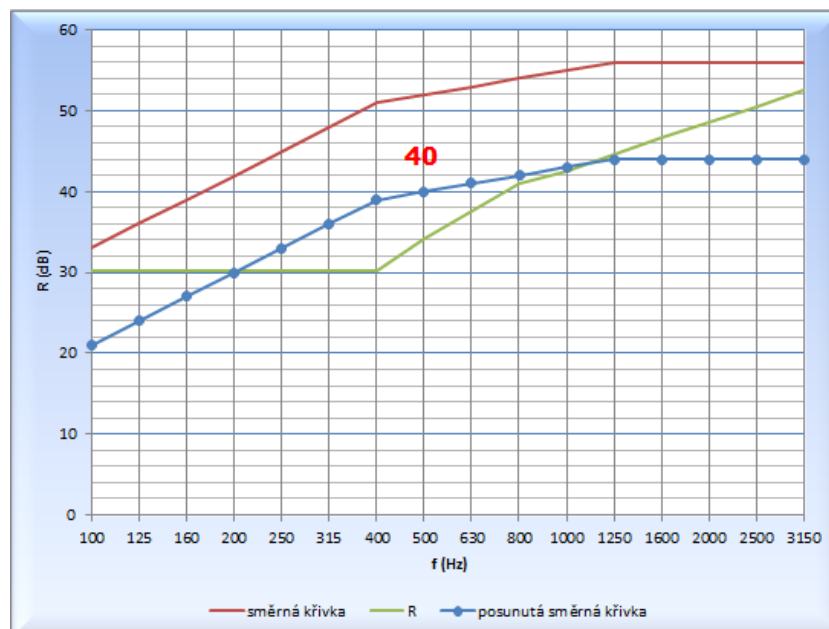
$$C_{tr} = 36,3 - 40 = -3,7$$

Výpočet vzduchové neprůzvučnosti jednoduché konstrukce

Wattersova metoda (technická metoda)

vstupní data			R <sub>w</sub>											
objemová hmotnost	p=	1090 kg/m <sup>3</sup>	F (Hz)	OBLAST										
rychlost podélných zv. vln	c=	2175 m/s		I.	II.	III.	IV.							
ztrátový činitel	η	0,006 -	100	36,5	30,2	10,9	22,6							
tloušťka konstrukce	h=	0,145 m	125	38,4	30,2	14,1	24,5							
délka stěny	l <sub>k</sub>	7,13 m	160	40,6	30,2	17,7	26,7							
výška stěny	l <sub>y</sub>	3,15 m	200	42,5	30,2	20,9	28,6							
			250	44,4	30,2	24,1	30,5							
základní rezonanční kmitočet	f <sub>0</sub>	17,09 Hz	315	46,4	30,2	27,5	32,5							
kritický kmitočet	f <sub>cr</sub> =	202,1 Hz	400	48,5	30,2	30,9	34,6							
	f <sub>a</sub> =	48,46 Hz	500	50,5	30,2	34,2	36,6							
	f <sub>b</sub> =	379,6 Hz	630	52,5	30,2	37,5	38,6							
	f <sub>c</sub> =	759,2 Hz	800	54,5	30,2	41,0	40,6							
			1000	56,5	30,2	44,2	42,6							
počet oktáv v int. mezi kmitočty f <sub>a</sub> , f <sub>b</sub>	x=	2,969	1250	58,4	30,2	47,4	44,5							
plošná hmotnost	m'=	158,1 kg.m <sup>2</sup>	1600	60,6	30,2	51,0	46,7							
neprůzvučnost v místě a	R <sub>a</sub> =	30,18 dB	2000	62,5	30,2	54,2	48,6							
	R <sub>c</sub> =	40,18 dB	2500	64,4	30,2	57,5	50,5							
			3150	66,4	30,2	60,8	52,5							
posun křivek směrem dolů o	12	dB												
			F (Hz)	Sk	F (Hz)	oblast	R (dB)	Rref	R-Rref	R-Rref	L <sub>1</sub> (dB)	L <sub>1</sub> -R(dB)	L <sub>2</sub> (dB)	L <sub>2</sub> -R(dB)
			100	33		2	30,2	21	9,2	0,0	-29,0	-59,2	-20,0	-50,2
			125	36		2	30,2	24	6,2	0,0	-26,0	-56,2	-20,0	-50,2
vzduchová neprůzvučnost R <sub>w</sub>	40	dB	160	39		2	30,2	27	3,2	0,0	-23,0	-53,2	-18,0	-48,2
			200	42	f <sub>cr</sub>	2	30,2	30	0,2	0,0	-21,0	-51,2	-16,0	-46,2
faktor přizpůsobení spektru C	-1,0	dB	250	45		2	30,2	33	-2,8	-2,8	-19,0	-49,2	-15,0	-45,2
faktor přizpůsobení spektru C <sub>v</sub>	-3,7	dB	315	48		2	30,2	36	-5,8	-5,8	-17,0	-47,2	-14,0	-44,2
			400	51	f <sub>b</sub>	3	30,9	39	-8,1	-8,1	-15,0	-45,9	-13,0	-43,9
			500	52		3	34,2	40	-5,8	-5,8	-13,0	-47,2	-12,0	-46,2
			630	53		3	37,5	41	-3,5	-3,5	-12,0	-49,5	-11,0	-48,5
			800	54	f <sub>c</sub>	3	41,0	42	-1,0	-1,0	-11,0	-52,0	-9,0	-50,0
			1000	55		4	42,6	43	-0,4	-0,4	-10,0	-52,6	-8,0	-50,6
			1250	56		4	44,5	44	0,5	0,0	-9,0	-53,5	-9,0	-53,5
			1600	56		4	46,7	44	2,7	0,0	-9,0	-55,7	-10,0	-56,7
			2000	56		4	48,6	44	4,6	0,0	-9,0	-57,6	-11,0	-59,6
			2500	56		4	50,5	44	6,5	0,0	-9,0	-59,5	-13,0	-63,5
			3150	56		4	52,5	44	8,5	0,0	-9,0	-61,5	-15,0	-67,5
									suma Δ	27,447	<32 dB	0,000126		0,000233
										39,0				36,3

Obrázek 33 - Náhled do zadaných a vypočtených parametrů pro Porotherm 11,5 P+D v programu MS Excel 2010.



Obrázek 34 - Výsledek neprůzvučnosti pro Porotherm 11,5 P+D v programu MS Excel 2010.

Podle ručního výpočtu je výsledek neprůzvučnosti pro modelový případ  $R_w = 40$  dB - viz Obrázek 34. Po odečtení korekcí podle vztahu (9) vychází výsledná (stavební) vzduchová neprůzvučnost  $R'_w$  v rozmezí 35 až 38 dB.

#### 4.4.4 Akustické parametry stěny z tvárnic Porotherm 11,5 P+D dle Wattersovy (technické) metody - program Neprůzvučnost

### TEORETICKÝ VÝPOČET VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

dle J. Čechura: Stavební fyzika 10, ČVUT 1997 a ČSN EN ISO 717-1 a ČSN EN ISO 717-2 (1998)

#### Neprůzvučnost 2005

Název úlohy : stěna Porotherm 11,5 P+D + omítky  
Zpracovatel : Pavel Oravec  
Zakázka : Disertační práce  
Datum : 8. 8. 2011

#### KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:

##### Základní parametry úlohy:

Typ konstrukce : jednoduchá jednovrstvá  
Typ výpočtu : vážená neprůzvučnost (index vzduch. neprůzvučnosti)  
Korekce k : 2,0 dB

##### Zadané vrstvy konstrukce (od chráněné místnosti):

číslo	Název	D [m]	Ro [kg/m <sup>3</sup> ]	c [m/s]	eta [-]	Ed [MPa] / alfa [-]
1	Poroth. 11,5 P+D	0,1450	1090,0	2175	0,006	-----

#### TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ:

Kmitočet Neprůzv. Ref. křivka Rozdíl

F [Hz]	R [dB]	Rref [dB]	deltaR [dB]
100	30,2	21	-----
125	30,2	24	-----
160	30,2	27	-----
200	30,2	30	-----
250	30,2	33	2,8
315	30,2	36	5,8
400	30,9	39	8,1
500	34,2	40	5,8
630	37,5	41	3,5
800	40,6	42	1,4
1000	42,6	43	0,4
1250	44,6	44	-----
1600	46,6	44	-----
2000	48,6	44	-----
2500	50,6	44	-----
3150	52,6	44	-----
Součet:			27,9

Pro frekvenci 400 Hz je nepříznivá odchylka větší než 8 dB.

Vážená neprůzvučnost (laboratorní)  $R_w$  : 40 dB  
Faktor přizpůsobení spektru C : -1 dB  
Faktor přizpůsobení spektru C, tr : -4 dB

Zápis dle ČSN EN ISO 717-1:  $R_w(C; C_{tr}) = 40(-1; -4)$  dB

**Předpokládaná vážená stavební neprůzvučnost  $R'_w$  : 38 dB**

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730532

Název konstrukce: Porotherm 11,5 P+D + omítky

Typ konstrukce: vnitřní příčka či strop (vzduchová neprůzvučnost)

Skladba konstrukce: uvedena v protokolu o výpočtu programu Neprůzvučnost

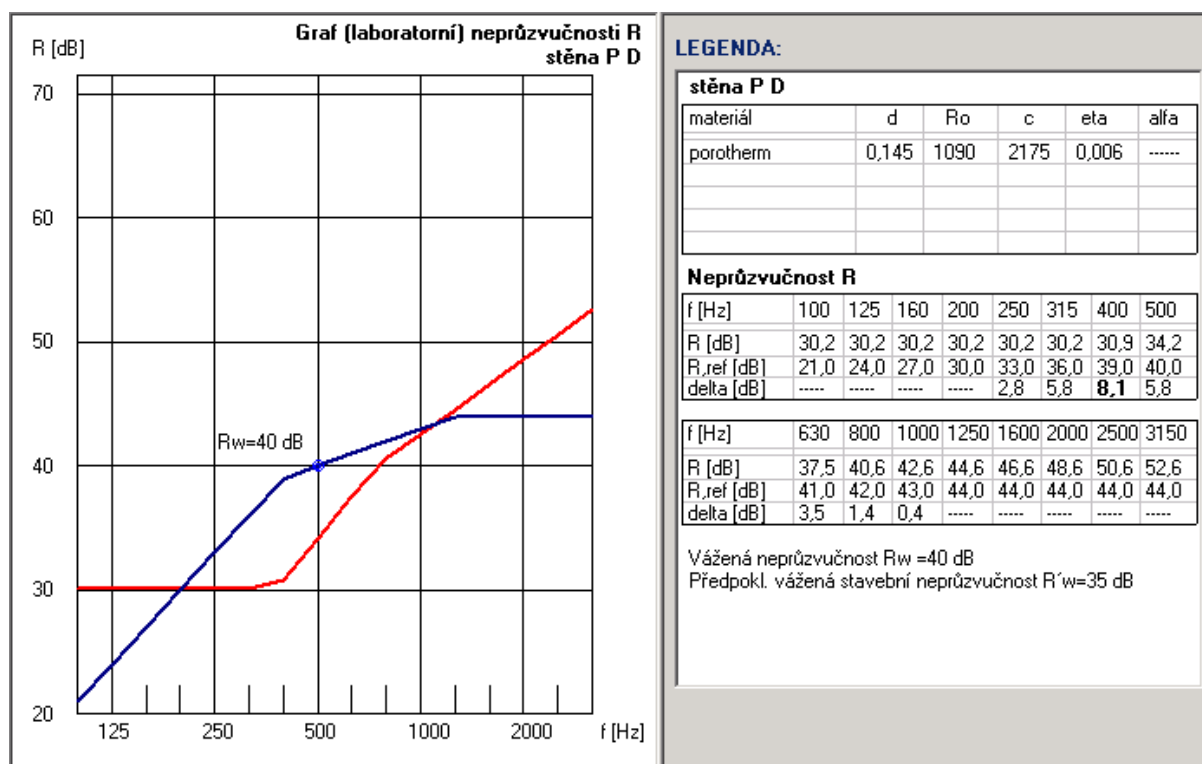
**Min. požadavek na váženou stavební neprůzvučnost**

(pro zvolené podmínky)  $R'w = 37 \text{ dB}$

Výsledek výpočtu  $R'w = 38 \text{ dB}$

Hodnota předpokládané vážené stavební neprůzvučnosti je větší než požadovaná hodnota.

**Konstrukce SPLNÍ požadavky ČSN 730532.**



Obrázek 35 - Výsledek výpočtu konstrukce Porotherm 11,5 P+D z programu Neprůzvučnost.

Podle výpočetního programu Neprůzvučnost je tedy výsledek neprůzvučnosti pro oboustranně omítnutou stěnu z tvárnic Porotherm 11,5 P+D  $Rw = 40 \text{ dB}$ . Po odečtení korekcí podle vztahu (9) vychází výsledná (stavební) vzduchová neprůzvučnost  $R'w$  v rozmezí 35 až 38 dB.

#### 4.4.5 Vzduchová neprůzvučnost stěny z tvárnic Porotherm 11,5 AKU dle provozní metody

Vzduchová neprůzvučnost byla vypočítána dosazením do vzorců podle kapitoly 3.4.6. Pro ověření správnosti ručního výpočtu a za účelem vyloučení početní chyby byly vzorce vloženy do tabulkového procesoru Microsoft Excel 2010.

Materiálové konstanty  $k_c$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  $k_s$  [-] dle (37), (38):

$$k_c = 48^{1/2} \cdot 10^{-4} \cdot c_0^2 \cdot 0,006^{1/2} \cdot \pi^{-1} \approx 25,49 \cdot 0,011^{0,1} = 16,237 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (76)$$

$$k_s = 2^{1,33(0,011^{-0,157})+1} = 12,995 \quad (77)$$

Plošné hmotnosti  $m'_o$ ,  $m'_s$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ] dle (35), (36):

$$m'_c = 15,282 \cdot \frac{1207}{1550} = 13 \text{ kg} \cdot \text{m}' \quad (78)$$

$$m'_s = k_c \cdot k_s \frac{\rho_i}{C} = k_s \cdot m'_c = 15,66 \cdot 88 = 164 \text{ kg} \cdot \text{m}' \quad (79)$$

$m' = 158 > m'_s = 119 \gg$  jedná se o konstrukci ohybově tuhou, hodnota vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$  [dB] podle (41):

$$R_w = 20 \log(175/12,995) + 20 = 43 \text{ dB} \quad (80)$$

$$R_{wc} = 20 \log(13) + 10 = 32 \text{ dB} \quad (81)$$

$$R_{ws} = 32 + 10 = 42 \text{ dB} \quad (82)$$

Výpočet vzduchové neprůzvučnosti jednoduché konstrukce									
provozní metoda - Čechura, J. Stavební fyzika 10 : Akustika stavebních konstrukcí, str. 61									
vstupní data									
objemová hmotnost	$\rho =$	1207	$\text{kg/m}^3$			oblast		$R_w$ (dB)	
rychlost podélných zv. vln	$c =$	1550	$\text{m/s}$			$m' \leq m' \cdot c$		55	
ztrátový činitel	$\eta$	0,011	-			$m' \cdot c \leq m' \cdot s \cdot m' \cdot s$		43	
tloušťka konstrukce	$h =$	0,145	$\text{m}$			$m' \geq m' \cdot s$		43	
						$R_{wc} =$		32	
						$R_{ws} =$		42	
plošná hmotnost	$m' =$	175,02	$(\text{kg} \cdot \text{m}')$						
materiálová konstanta	$k_c =$	16,237	$(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$						
materiálová konstanta	$k_s =$	12,995	(-)						
	$m' \cdot c =$	13	$(\text{kg} \cdot \text{m}')$						
	$m' \cdot s =$	164	$(\text{kg} \cdot \text{m}')$						

Obrázek 36 - Náhled do zadaných a vypočtených parametrů pro Porotherm 11,5 AKU v programu MS Excel 2010.

#### 4.4.6 Vzduchová neprůzvučnost stěny z tvárnic Porotherm 11,5 P+D dle provozní metody

Vzduchová neprůzvučnost byla vypočítána dosazením do vzorců podle kapitoly 3.4.6. Pro ověření správnosti ručního výpočtu a za účelem vyloučení početní chyby byly vzorce vloženy do tabulkového procesoru Microsoft Excel 2010.

Materiálové konstanty  $k_c$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  $k_s$  [-] dle (37), (38):

$$k_c = 48^{1/2} \cdot 10^{-4} \cdot c_0^2 \cdot 0,006^{1/2} \cdot \pi^{-1} \approx 25,49 \cdot 0,006^{0,1} = 15,282 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (83)$$

$$k_s = 2^{1,33(0,006^{-0,157})+1} = 15,665 \quad (84)$$

Plošné hmotnosti  $m'_o$ ,  $m'_s$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ] dle (35), (36):

$$m'_c = 15,282 \cdot \frac{1090}{2197} = 8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \quad (85)$$

$$m'_s = k_c \cdot k_s \cdot \frac{\rho_i}{c} = k_s \cdot m'_c = 15,66 \cdot 8 = 119 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \quad (86)$$

$m' = 158 > m'_s = 119$  » jedná se o konstrukci ohybově tuhou, hodnota vzduchové neprůzvučnosti  $R_w$  [dB] podle (41):

$$R_w = 20 \log(158/15,665) + 20 = 40 \text{ dB} \quad (87)$$

$$R_{wc} = 20 \log(8) + 10 = 28 \text{ dB} \quad (88)$$

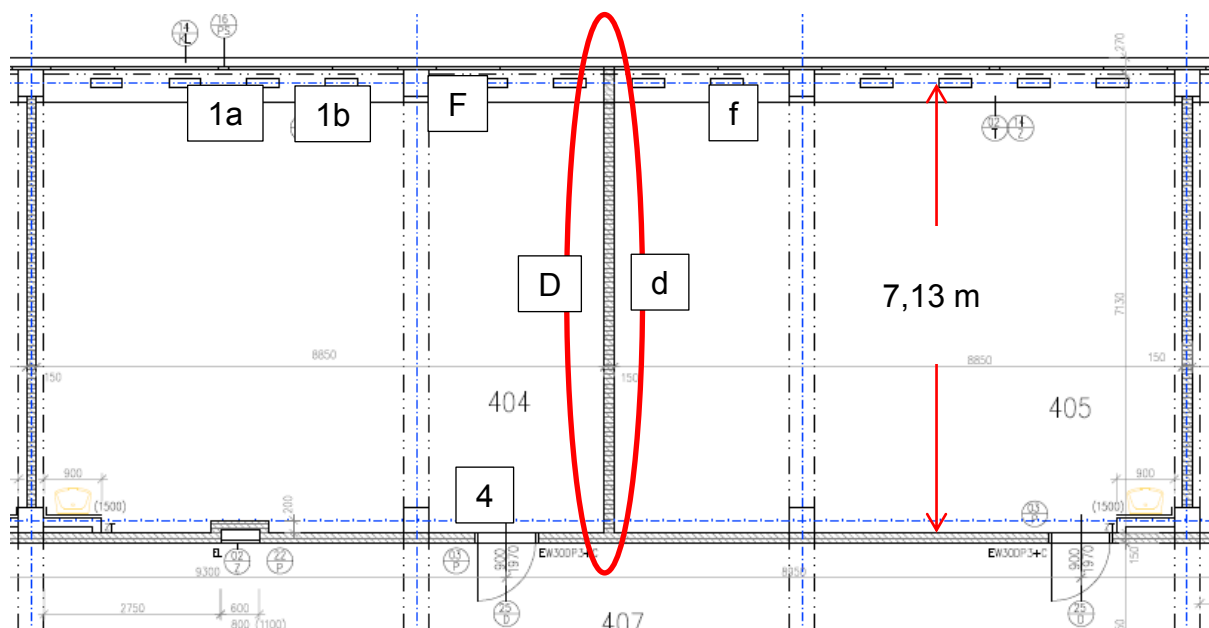
$$R_{ws} = 28 + 10 = 38 \text{ dB} \quad (89)$$

Výpočet vzduchové neprůzvučnosti jednoduché konstrukce							
provozní metoda - Čechura, J. Stavební fyzika 10 : Akustika stavebních konstrukcí, str. 61							
vstupní data							
objemová hmotnost	$\rho =$	1090	$\text{kg}/\text{m}^3$	oblast		$R_w$ (dB)	
rychlost podélných zv. vln	$c =$	2197	$\text{m}/\text{s}$				
ztrátový činitel	$\eta =$	0,006	-				
tloušťka konstrukce	$h =$	0,145	$\text{m}$				
plošná hmotnost	$m' =$	158,05	$(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2})$				
materiálová konstanta	$k_c =$	15,282	$(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$				
materiálová konstanta	$k_s =$	15,665	(-)				
	$m'_c =$	8	$(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2})$				
	$m'_s =$	119	$(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2})$				

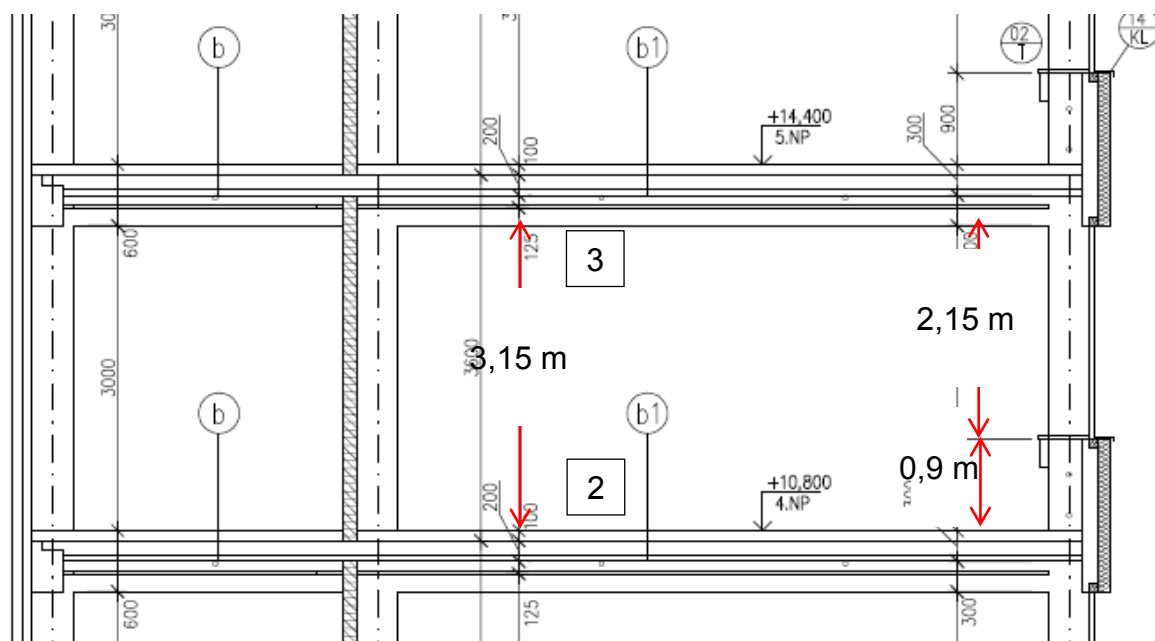
Obrázek 37 - Náhled do zadaných a vypočtených parametrů pro Porotherm 11,5 P+D v programu MS Excel 2010.



Pro výpočet modelu je nutné zajistit vstupní data - rozměry a parametry plošné hmotnosti a vzduchové neprůzvučnosti dělicího prvku i navazujících prvků.



Obrázek 38 - Půdorys počítané situace. Zdroj [18].



Obrázek 39 - Řez počítané situace. Zdroj [18].

Vzduchová neprůzvučnost byla vypočítána dosazením do vzorců podle kapitoly 3.4.7. Pro ověření správnosti ručního výpočtu a za účelem vyloučení početní chyby byly vzorce vloženy do tabulkového procesoru Microsoft Excel 2010. Zadaná data a následné výstupy znázorňuje *Obrázek 40*.

**Vstupní údaje jednotlivých konstrukcí:**

**Posuzovaná dělicí stěna** -  $m' = 175 \text{ kg.m}^{-2}$  (od výrobce),  $R_w = 43 \text{ dB}$  (výpočet technickou metodou), rozměry  $7,13 \text{ m} \times 3,15 \text{ m}$  (projektová dokumentace a ověření rozměrů na stavbě).

**Fasáda transparentní** -  $m' = 20 \text{ kg.m}^{-2}$  (od výrobce),  $R_w = 30 \text{ dB}$  (projektová dokumentace), výška styku  $0,9 \text{ m}$  (projektová dokumentace a ověření rozměrů na stavbě).

**Fasáda parapet** -  $m' = 295 \text{ kg.m}^{-2}$  (výpočet dle skladby),  $R_w = 61 \text{ dB}$  (výpočet technickou metodou - kap. 8.3.1), výška styku  $2,15 \text{ m}$  (projektová dokumentace a ověření rozměrů na stavbě).

**Podlaha** -  $m' = 460 \text{ kg.m}^{-2}$  (výpočet dle skladby),  $R_w = 58 \text{ dB}$  (výpočet technickou metodou - kap. 8.3.2), zlepšení vlivem plovoucí podlahy  $\Delta R_w = 3 \text{ dB}$  (výpočet technickou metodou - kap. 8.3.2), délka styku  $7,13 \text{ m}$  (projektová dokumentace a ověření rozměrů na stavbě).

**Strop** -  $m' = 460 \text{ kg.m}^{-2}$  (výpočet dle skladby),  $R_w = 55 \text{ dB}$  (výpočet technickou metodou - kap. 8.3.3), délka styku  $7,13 \text{ m}$  (projektová dokumentace a ověření rozměrů na stavbě).

**Vnitřní stěna** -  $m' = 175 \text{ kg.m}^{-2}$  (od výrobce),  $R_w = 43 \text{ dB}$  (výpočet technickou metodou), délka styku  $3,15 \text{ m}$  (projektová dokumentace a ověření rozměrů na stavbě).

**Hodnota pomocného parametru M ze vztahu (49):**

$$\text{stěna: fas. transpar.} \quad M_{DF1a} = \log(43/30) = 0,94 \quad (90)$$

$$\text{stěna: fas. parapet} \quad M_{DF1b} = \log(43/61) = -0,23 \quad (91)$$

$$\text{stěna: podlaha} \quad M_{D2} = \log(43/55) = -0,42 \quad (92)$$

$$\text{stěna: strop} \quad M_{D3} = \log(43/55) = -0,42 \quad (93)$$

$$\text{stěna: vnitřní stěna} \quad M_{D4} = \log(43/43) = 0 \quad (94)$$

**• tuhý křížový styk - rovnice (50), (51):**

$$\begin{aligned} \text{stěna: podlaha;} \\ \text{stěna: strop} \end{aligned} \quad K_{22} = K_{33} = 8,7 + 17,1 \times (-0,42) + 5,7 \times (-0,42)^2 = 2,53 \quad (95)$$

$$K_{D2} = K_{D3} = 8,7 + 5,7 \times (-0,42)^2 = 9,7 \quad (96)$$

**• styk tvaru písmene T - rovnice (52), (53):**

$$\text{stěna: fas. parapet} \quad K_{1b,1b} = 5,7 + 14,1 \times (-0,23) + 5,7 \times (-0,23)^2 = 2,8 \quad (97)$$

$$K_{D1b} = 5,7 + 5,7 \times (-0,23)^2 = 5,99 \quad (98)$$

$$\text{stěna: vnitřní stěna} \quad K_{44} = 5,7 + 14,1 \times 0 + 5,7 \times 0^2 = 5,7 \quad (99)$$

$$K_{D4} = 5,7 + 5,7 \times (0)^2 = 5,7 \quad (100)$$

**• styk s lehkou fasádou - z rovnic (54), (55):**

$$\text{stěna: fas. transpar.} \quad K_{1a1a} = 5 + 10 \times 0,94 = 14,42 \quad (101)$$

$$K_{D1a} = 10 + 10 \times 0,94 = 19,42 \quad (102)$$

**Vážená neprůzvučnost pro přímý přenos je určena ze vstupní hodnoty pro dělicí prvek podle vztahu (45):**

$$\text{stěna} \quad R_{Dd,w} = 43 + 0 = 43 \text{ dB} \quad (103)$$

Vážené údaje o snížení zvuku šířeného bočními cestami jsou určeny ze vstupních údajů podle následujících vztahů (46), (47), (48):

**stěna**

$$\text{stěna: fas. transpar.} \quad R_{1ad} = \frac{30}{2} + \frac{43}{2} + 0 + 19,42 + 10\log \frac{22,46}{2,15} = 66,11 \text{ dB} \quad (104)$$

$$\text{stěna: fas. parapet} \quad R_{1bd} = \frac{61}{2} + \frac{43}{2} + 0 + 5,99 + 10\log \frac{22,46}{0,9} = 71,96 \text{ dB} \quad (105)$$

$$\text{stěna: podlaha} \quad R_{2d} = \frac{55}{2} + \frac{43}{2} + 3 + 9,7 + 10\log \frac{22,46}{7,13} = 66,69 \text{ dB} \quad (106)$$

$$\text{stěna: strop} \quad R_{3d} = \frac{55}{2} + \frac{43}{2} + 0 + 9,7 + 10\log \frac{22,46}{7,13} = 63,69 \text{ dB} \quad (107)$$

$$\text{stěna: vnitřní stěna} \quad R_{4d} = \frac{43}{2} + \frac{43}{2} + 0 + 9,7 + 10\log \frac{22,46}{3,15} = 57,23 \text{ dB} \quad (108)$$

**podlaha**

$$\text{podlaha: stěna} \quad R_{D2} = \frac{55}{2} + \frac{43}{2} + 0 + 9,7 + 10\log \frac{22,46}{7,13} = 66,69 \text{ dB} \quad (109)$$

$$\text{podlaha: podlaha} \quad R_{22} = \frac{55}{2} + \frac{55}{2} + 0 + 2,53 + 10\log \frac{22,46}{7,13} = 65,51 \text{ dB} \quad (110)$$

**strop**

$$\text{strop: stěna} \quad R_{3d} = \frac{55}{2} + \frac{43}{2} + 0 + 9,7 + 10\log \frac{22,46}{7,13} = 63,69 \text{ dB} \quad (111)$$

$$\text{strop: strop} \quad R_{33} = \frac{55}{2} + \frac{55}{2} + 0 + 2,53 + 10\log \frac{22,46}{7,13} = 62,51 \text{ dB} \quad (112)$$

**fasáda**

$$\text{fas. transpar.: stěna} \quad R_{D1a} = \frac{30}{2} + \frac{43}{2} + 0 + 19,42 + 10\log \frac{22,46}{2,15} = 66,11 \text{ dB} \quad (113)$$

$$\text{fas. parapet: stěna} \quad R_{D1b} = \frac{61}{2} + \frac{43}{2} + 0 + 5,99 + 10\log \frac{22,46}{0,9} = 71,96 \text{ dB} \quad (114)$$

$$\text{fas. transpar.:} \\ \text{fas. transpar.} \quad R_{1a1a} = \frac{30}{2} + \frac{30}{2} + 0 + 14,42 + 10\log \frac{22,46}{2,15} = 54,61 \text{ dB} \quad (115)$$

$$\text{fas. par: fas.transp.} \quad R_{1b1b} = \frac{61}{2} + \frac{61}{2} + 0 + 2,8 + 10\log \frac{22,46}{0,9} = 77,77 \text{ dB} \quad (116)$$

**vnitřní stěna**

$$\text{vnitřní stěna: stěna} \quad R_{D4} = \frac{43}{2} + \frac{43}{2} + 0 + 5,7 + 10\log \frac{22,46}{3,15} = 57,23 \text{ dB} \quad (117)$$

$$\text{vnitřní stěna: vnitřní} \\ \text{stěna} \quad R_{44} = \frac{43}{2} + \frac{43}{2} + 0 + 5,7 + 10\log \frac{22,46}{3,15} = 57,23 \text{ dB} \quad (118)$$

**Vážená stavební neprůzvučnost mezi dvěma místnostmi podle vztahu (44):**

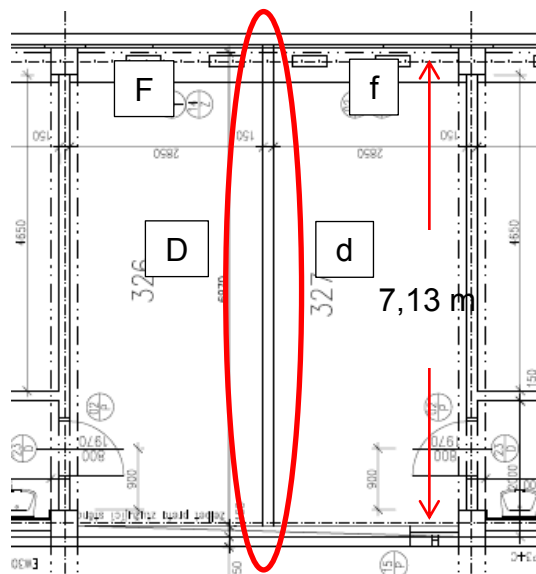
$$R'_w = -10 \log(6,2 \cdot 10^{-5}) = 42,08 \text{ dB} \quad (119)$$

Výpočet vzduchové neprůzvučnosti jednoduché konstrukce Model dle ČSN EN 12354-1														
vstupní parametry														
konstrukce	m <sup>2</sup> /(kg·m <sup>2</sup> )	R <sub>w</sub> (dB)	M	K <sub>eq</sub> (dB)	K <sub>eq</sub> (dB)	K <sub>eq</sub> (dB)	R <sub>1ad</sub>	R <sub>1bd</sub>	R <sub>2d</sub>	R <sub>3d</sub>	R <sub>4d</sub>	R <sub>D2</sub>	R <sub>D3</sub>	R <sub>D4</sub>
stěna (s)	175	43					43,00	66,11						
fasáda (transparentní) F=f=1a	20	30	8,75	0,94	14,42	19,42								
fasáda (parapet) F=f=1b	295	61	0,59	-0,23	2,80	5,99								
podlaha F=f=2	460	55	0,38	-0,42	2,53	9,70		71,96				66,69	65,51	77,77
strop F=f=3	460	55	0,38	-0,42	2,53	9,70			66,69					
vnitřní stěna F=f=4	175	43	1,00	0,00	5,70	5,70				63,69	57,23		63,69	62,51
														57,23
plocha stěny S <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	22,46													
podlaha ΔR <sub>w</sub> (dB)	3													
I1 (m) stěna vnitřní	3,15													
I2 (m) podlaha, strop	7,13													
I3 (m) fasáda transpar.	2,15													
I4 (m) fasáda parapet	0,9													
styková neprůzvučnost vibrací														
M=lg (m <sup>2</sup> ·/m <sup>2</sup> )														
styk s lehkou fasádou														
KFf=5+10M														
KFd=KDF=10+10M														
tuhý t styk														
KFf=5,7+14,1M+5,7M <sup>2</sup>														
KFd=KDF=5,7+5,7M <sup>2</sup>														
stěna:fasáda (parapet)														
stěna:vnitřní stěna														
tuhý křížový styk														
KFf=8,7+17,1M+5,7M <sup>2</sup>														
KFd=KDF=8,7+5,7M <sup>2</sup>														
stěna:podlaha														
stěna:strop														
vážená neprůzvučnost pro boční přenos														
RFf, w=RF, w/2+RF, w/2+ΔRFf, w+KFf+10log(S <sub>s</sub> /I <sub>0</sub> , If)														
vážená neprůzvučnost mezi dvěma místnostmi														
R <sup>*</sup> w (dB)														42,08

Obrázek 40 - Náhled do zadaných a vypočtených parametrů pro Porotherm 11,5 AKU v programu MS Excel 2010.

#### 4.4.8 Vzduchová neprůzvučnost stěny z tvárnic Porotherm 11,5 P+D dle modelu uvedeného v [15]

Pro výpočet modelu je nutné zajistit vstupní data - rozměry a parametry plošné hmotnosti a vzduchové neprůzvučnosti dělicího prvku i navazujících prvků.



Obrázek 41 - Půdorys počítané situace. Zdroj [18].

#### Vstupní údaje jednotlivých konstrukcí:

**Posuzovaná dělicí stěna** -  $m' = 158 \text{ kg.m}^{-2}$  (od výrobce),  $R_w = 40 \text{ dB}$  (výpočet technickou metodou), rozměry  $7,13 \text{ m} \times 3,15 \text{ m}$  (projektová dokumentace a ověření rozměrů na stavbě).

**Fasáda transparentní** -  $m' = 20 \text{ kg.m}^{-2}$  (od výrobce),  $R_w = 30 \text{ dB}$  (projektová dokumentace), výška styku  $0,9 \text{ m}$  (projektová dokumentace a ověření rozměrů na stavbě).

**Fasáda parapet** -  $m' = 295 \text{ kg.m}^{-2}$  (výpočet dle skladby),  $R_w = 61 \text{ dB}$  (výpočet technickou metodou - kap. 8.3.1), výška styku  $2,15 \text{ m}$  (projektová dokumentace a ověření rozměrů na stavbě).

**Podlaha** -  $m' = 460 \text{ kg.m}^{-2}$  (výpočet dle skladby),  $R_w = 58 \text{ dB}$  (výpočet technickou metodou - kap. 8.3.2), zlepšení vlivem plovoucí podlahy  $\Delta R_w = 3 \text{ dB}$  (výpočet technickou metodou - kap. 8.3.2), délka styku  $7,13 \text{ m}$  (projektová dokumentace a ověření rozměrů na stavbě).

**Strop** -  $m' = 460 \text{ kg.m}^{-2}$  (výpočet dle skladby),  $R_w = 55 \text{ dB}$  (výpočet technickou metodou - kap. 8.3.3), délka styku  $7,13 \text{ m}$  (projektová dokumentace a ověření rozměrů na stavbě).

**Vnitřní stěna** -  $m' = 158 \text{ kg.m}^{-2}$  (od výrobce),  $R_w = 40 \text{ dB}$  (výpočet technickou metodou), délka styku  $3,15 \text{ m}$  (projektová dokumentace a ověření rozměrů na stavbě).

**Hodnota pomocného parametru  $M$  ze vztahu (49):**

$$\text{stěna: fas. transpar.} \quad M_{DF1a} = \log (40/30) = 0,90 \quad (120)$$

$$\text{stěna: fas. parapet} \quad M_{DF1b} = \log (40/61) = -0,27 \quad (121)$$

$$\text{stěna: podlaha} \quad M_2 = \log (40/55) = -0,46 \quad (122)$$

$$\text{stěna: strop} \quad M_3 = \log (40/55) = -0,46 \quad (123)$$

$$\text{stěna: vnitřní stěna} \quad M_4 = \log (40/40) = 0 \quad (124)$$

**• tuhý křížový styk - rovnice (50), (51):**

$$\begin{array}{l} \text{stěna: podlaha;} \\ \text{stěna: strop} \end{array} \quad K_{22} = K_{33} = 8,7 + 17,1 \times (-0,46) + 5,7 \times (-0,46)^2 = 1,99 \quad (125)$$

$$K_{D2} = K_{D3} = 8,7 + 5,7 \times (-0,46)^2 = 9,93 \quad (126)$$

**• styk tvaru písmene T - rovnice (52), (53):**

$$\text{stěna: fas. parapet} \quad K_{1b1b} = 5,7 + 14,1 \times (-0,27) + 5,7 \times (-0,27)^2 = 2,3 \quad (127)$$

$$K_{D1b} = 5,7 + 5,7 \times (-0,27)^2 = 6,12 \quad (128)$$

$$\text{stěna: vnitřní stěna} \quad K_{44} = 5,7 + 14,1 \times 0 + 5,7 \times 0^2 = 5,7 \quad (129)$$

$$K_{D4} = 5,7 + 5,7 \times (0)^2 = 5,7 \quad (130)$$

**• styk s lehkou fasádou - z rovnic (54), (55):**

$$\text{stěna: fas. transpar.} \quad K_{1a1a} = 5 + 10 \times 0,9 = 13,98 \quad (131)$$

$$K_{D1a} = 10 + 10 \times 0,9 = 18,98 \quad (132)$$

Vážená neprůzvučnost pro přímý přenos je určena ze vstupní hodnoty pro dělicí prvek podle vztahu (45):

$$\text{stěna} \quad R_{Dd,w} = 40 + 0 = 40 \text{ dB} \quad (133)$$

Vážené údaje o snížení zvuku šířeného bočními cestami jsou určeny ze vstupních údajů podle následujících vztahů (46), (47), (48):

**stěna**

$$\text{stěna: fas. transpar.} \quad R_{1ad} = \frac{30}{2} + \frac{40}{2} + 0 + 18,98 + 10 \log \frac{22,46}{2,15} = 64,17 \text{ dB} \quad (134)$$

$$\text{stěna: fas. parapet} \quad R_{1bd} = \frac{61}{2} + \frac{40}{2} + 0 + 6,12 + 10 \log \frac{22,46}{0,9} = 70,59 \text{ dB} \quad (135)$$

$$\text{stěna: podlaha} \quad R_{2d} = \frac{55}{2} + \frac{40}{2} + 3 + 9,93 + 10 \log \frac{22,46}{7,13} = 65,41 \text{ dB} \quad (136)$$

$$\text{stěna: strop} \quad R_{2d} = \frac{55}{2} + \frac{40}{2} + 0 + 9,93 + 10 \log \frac{22,46}{7,13} = 62,41 \text{ dB} \quad (137)$$

$$\text{stěna: vnitřní stěna} \quad R_{2d} = \frac{40}{2} + \frac{40}{2} + 0 + 9,93 + 10 \log \frac{22,46}{3,15} = 54,23 \text{ dB} \quad (138)$$

**podlaha**

$$\text{podlaha: stěna} \quad R_{D2} = \frac{55}{2} + \frac{40}{2} + 0 + 9,93 + 10\log \frac{22,46}{7,13} = 65,41 \text{ dB} \quad (139)$$

$$\text{podlaha: podlaha} \quad R_{22} = \frac{55}{2} + \frac{55}{2} + 0 + 1,99 + 10\log \frac{22,46}{7,13} = 64,97 \text{ dB} \quad (140)$$

**strop**

$$\text{strop: stěna} \quad R_{3d} = \frac{55}{2} + \frac{40}{2} + 0 + 9,93 + 10\log \frac{22,46}{7,13} = 62,41 \text{ dB} \quad (141)$$

$$\text{strop: strop} \quad R_{33} = \frac{55}{2} + \frac{55}{2} + 0 + 1,99 + 10\log \frac{22,46}{7,13} = 61,97 \text{ dB} \quad (142)$$

**fasáda**

$$\text{fas. transpar.: stěna} \quad R_{D1a} = \frac{30}{2} + \frac{40}{2} + 0 + 18,98 + 10\log \frac{22,46}{2,15} = 64,17 \text{ dB} \quad (143)$$

$$\text{fas. parapet: stěna} \quad R_{D1b} = \frac{61}{2} + \frac{40}{2} + 0 + 6,12 + 10\log \frac{22,46}{0,9} = 70,59 \text{ dB} \quad (144)$$

$$\text{fas.transpar.: fas. transpar.} \quad R_{1a1a} = \frac{30}{2} + \frac{30}{2} + 0 + 13,98 + 10\log \frac{22,46}{2,15} = 54,17 \text{ dB} \quad (145)$$

$$\text{fas.par: fas. transp.} \quad R_{1b1b} = \frac{61}{2} + \frac{61}{2} + 0 + 2,3 + 10\log \frac{22,46}{0,9} = 77,27 \text{ dB} \quad (146)$$

**vnitřní stěna**

$$\text{vnitřní stěna: stěna} \quad R_{D4} = \frac{40}{2} + \frac{40}{2} + 0 + 5,7 + 10\log \frac{22,46}{3,15} = 54,23 \text{ dB} \quad (147)$$

$$\text{vnitřní stěna: vnitřní stěna} \quad R_{44} = \frac{40}{2} + \frac{40}{2} + 0 + 5,7 + 10\log \frac{22,46}{3,15} = 54,23 \text{ dB} \quad (148)$$

**Vážená stavební neprůzvučnost mezi dvěma místnostmi podle vztahu (44):**

$$R'_w = -10 \log(0,0001188) = 39,25 \text{ dB} \quad (149)$$

Výpočet vzduchové neprůzvučnosti jednoduché konstrukce														
Model dle ČSN EN 12354-1														
konstrukce	$m'$ (kg.m <sup>-2</sup> )	Rw (dB)	$m^2$ /m <sup>2</sup> ·f	M	$K_{e1}$ (dB)	$K_{e2}$ (dB)	$K_{e3}$ (dB)	RDd	R1ad	R1bd	R2d	R3d	R4d	RD2
stěna (s)	158	40						40,00	64,17	70,59	65,41	62,41	54,23	62,41
fasáda (transparentní) F=f=1a	20	30	7,90	0,90	13,98	18,98	18,98							
fasáda (parapet) F=f=1b	295	61	0,54	-0,27	2,30	6,12	6,12							
podlaha F=f=2	460	55	0,34	-0,46	1,99	9,93	9,93							
strop F=f=3	460	55	0,34	-0,46	1,99	9,93	9,93							
vnitřní stěna F=f=4	158	40	1,00	0,00	5,70	5,70	5,70							
plocha stěny Ss (m <sup>2</sup> )	22,46							0,0001188						
podlaha ΔRw (dB)	3													
I1 (m) stěna vnitřní	3,15													
I2 (m) podlaha, strop	7,13													
I3 (m) fasáda transpar.	2,15													
I4 (m) fasáda parapet	0,9													
styková neprůzvučnost vibrací														
M=lg (m <sup>2</sup> ·/m <sup>2</sup> )														
styk s lehkou fasádou	Kff = 5+10M													
stěna: fasáda (transp)	Kfd=Kdf=10+10M													
tuhý t styk	Kff=5,7+14,1M+5,7M <sup>2</sup>													
stěna: fasáda (parapet)	Kfd=Kdf=5,7+5,7M <sup>2</sup>													
stěna: vnitřní stěna														
tuhý křížový styk	Kff=8,7+17,1M+5,7M <sup>2</sup>													
stěna: podlaha	Kfd=Kdf=8,7+5,7M <sup>2</sup>													
stěna: strop														
vážená neprůzvučnost pro boční přenos	Rff, w=RF, w/2+Rf, w/2+ΔRff, w+Kff+10lg(Ss/(Io·If))													
vážená neprůzvučnost mezi dvěma místnostmi														
R'w (dB)	39,25													

Obrázek 42 - Náhled do zadaných a vypočtených parametrů pro Porotherm 11,5 P+D v programu MS Excel 2010.



## 4.5 Příklad řešení pro zlepšení akustických vlastností stávající konstrukce

Vzhledem k tomu, že zabudovaná konstrukce z materiálů Porotherm 11,5 AKU podle výsledků měření patrných z *Tabulka 3* nevyhoví požadavkům na dělicí konstrukci mezi učebnami podle [11], byl vypracován návrh řešení směřující ke zlepšení neprůzvučnosti konstrukce.

### 4.5.1 Návrh zlepšení nevyhovující konstrukce

Stávající konstrukce byla doplněna o předstěnu ze sádrokartonu upevněném na ocelových pozinkovaných profilech. Mezi sádrokartonem a původní stěnou byla navržena vzduchová dutina tl. 80 mm vyplněná pohltivým izolantem z minerální vlny Orsil T v mocnosti 50 mm. Tímto byla vytvořena dvojitá konstrukce.

Důležité při stavbě konstrukce je věnovat zvýšenou péči detailům (zásady jsou uvedeny v [67]), jinak se požadovaný efekt zlepšení nedostaví.

Aplikace této předstěny na stavbě vyžaduje zvýšené finanční náklady, dočasné omezení užívání prostor po dobu stavebních prací a snížení užité plochy místnosti - v našem řešeném případě až o 6,6 m<sup>2</sup>!

### 4.5.2 Posouzení návrhu zlepšení nevyhovující konstrukce v programu Neprůzvučnost

## TEORETICKÝ VÝPOČET VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

dle J. Čechura: Stavební fyzika 10, ČVUT 1997 a ČSN EN ISO 717-1 a ČSN EN ISO 717-2 (1998)

### Neprůzvučnost 2005

Název úlohy : Porotherm 115 AKU + omítka + předstěna  
Zpracovatel : Pavel Oravec  
Zakázka : Disertační práce  
Datum : 8. 8. 2011

### KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:

#### Základní parametry úlohy:

Typ konstrukce : dvojitá  
Typ výpočtu : vážená neprůzvučnost (index vzduch. neprůzvučnosti)  
Korekce k : 2,0 dB

#### Zadané vrstvy konstrukce (od chráněné místnosti):

číslo	Název	D [m]	Ro [kg/m <sup>3</sup> ]	c [m/s]	eta [-]	Ed [MPa] / alfa [-]
1	Porotherm 115	0,1450	1207,0	1550	0,011	-----
2	Orsil T...	0,0800	189,0	-----	0,190	0,60
3	Sádrokarton	0,0125	920,0	1775	0,021	-----

### TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ:

Kmitočet	Dílčí neprůzvučnosti			Neprůzv.	Ref. křivka	Rozdíl
f[Hz]	1.kce[dB]	2.kce[dB]	DR(sep.)(dB)	R[dB]	Rref[dB]	deltaR[dB]
100	34,5	13,7	-1,9	33,4	32	-----
125	34,5	15,7	0,2	35,7	35	-----
160	34,5	17,7	2,3	38,0	38	-----
200	34,5	19,7	4,5	40,5	41	0,5

DISERTAČNÍ PRÁCE

250	34,5	21,7	6,6	42,9	44	1,1
315	34,5	23,7	6,8	43,5	47	3,5
400	34,5	25,7	6,8	44,0	50	6,0
500	35,5	27,7	6,8	45,2	51	5,8
630	38,8	29,7	6,8	48,2	52	3,8
800	42,1	31,6	6,8	51,1	53	1,9
1000	45,1	31,6	6,8	53,5	54	0,5
1250	47,1	31,6	6,8	55,2	55	-----
1600	49,1	31,6	6,8	56,9	55	-----
2000	51,1	31,6	6,8	58,7	55	-----
2500	53,1	31,6	6,8	60,5	55	-----
3150	55,1	31,6	6,8	62,4	55	-----
Součet:						23,1

Vážená neprůzvučnost (laboratorní)  $R_w$  : **51 dB**

Faktor přizpůsobení spektru C : **-1 dB**

Faktor přizpůsobení spektru C, tr : **-5 dB**

Zápis dle ČSN EN ISO 717-1:  $R_w(C; C_{tr}) = 51(-1; -5) \text{ dB}$

Předpokládaná vážená stavební neprůzvučnost  $R'_w$  : **49 dB**

STOP, Neprůzvučnost 2005

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730532

Název konstrukce: Porotherm 115 AKU + omítky + předstěna  
 Typ konstrukce: vnitřní příčka či strop (vzduchová neprůzvučnost)  
 Skladba konstrukce: uvedena v protokolu o výpočtu programu Neprůzvučnost

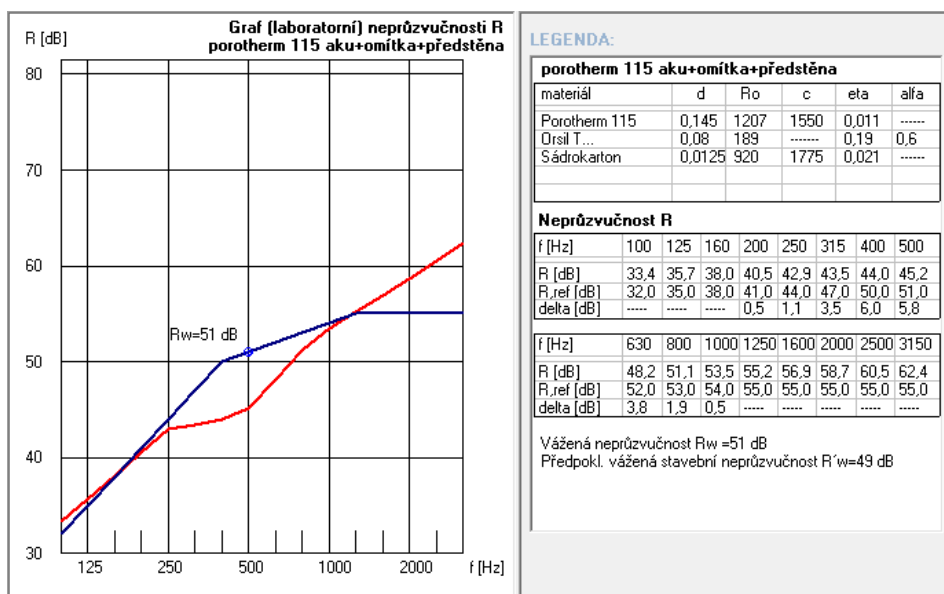
### Min. požadavek na váženou stavební neprůzvučnost

(pro zvolené podmínky)  $R'_w = 47 \text{ dB}$

Výsledek výpočtu  $R'_w = 49 \text{ dB}$

Hodnota předpokládané vážené stavební neprůzvučnosti je menší než požadovaná hodnota.

**Konstrukce SPLNÍ požadavky ČSN 730532.**



Obrázek 43 - Výsledek výpočtu konstrukce Porotherm 11,5 AKU s předstěnou z programu Neprůzvučnost.

## 4.6 Příčiny diferencí mezi návrhem a skutečností

Jak je patrné z přehledu (viz *Tabulka 3*, *Tabulka 4*), rozdíly mezi požadovanými hodnotami, hodnotami vypočítanými a skutečností jsou vysoké. Tato situace má celou řadu příčin, mezi nimiž lze vyjmenovat zejména:

### 1. Chybný projekční návrh.

Ačkoli požadovaná hodnota vzduchové neprůzvučnosti mezi učebnami je podle dokumentu [11] platném v době přípravy stavby (2006) definována hodnotou  $R'_{w} \geq 47$  dB, byl na oddělení chráněných prostor vybrán materiál, který vykazuje hodnotu dle výrobce  $R_w = 47$  dB. Po odečtení příslušných korekcí získáme  $R'_{w}$  v rozmezí 42 až 45 dB. Prostým převzetím hodnot od výrobce byl tedy naprojektován materiál s parametrem vzduchové neprůzvučnosti nižším o 2 až 5 dB oproti požadovanému stavu.

ČSN 73 0532

Tabulka 1 – Požadavky na zvukovou izolaci mezi místnostmi v budovách

Chráněný prostor (místnost příjmu zvuku)					
Řádka	Hlučný prostor (místnost zdroje zvuku)	Požadavky na zvukovou izolaci			
		Stropy		Stěny	Dveře
		$R'_{w_i}, D_{nT,w}$ dB	$L'_{n,w_i}, L'_{nT,w}$ dB	$R'_{w_i}, D_{nT,w}$ dB	$R_w$ dB
<b>F. Školy a vzdělávací instituce – učebny, výukové prostory</b>					
15	Učebny, výukové prostory	52	58	47	–
16	Společné prostory, chodby, schodiště	52	58	47	32 27 <sup>7)</sup>
17	Hlučné prostory (dílny, jídelny) $L_{A,max} \leq 85$ dB	55	48	52	–
18	Velmi hlučné prostory (hudební učebny, dílny, tělocvičny) $L_{A,max} \leq 90$ dB	60 <sup>8)</sup>	48 <sup>9)</sup>	57 <sup>9)</sup>	–
<b>G. Administrativní a správní budovy, firmy – kanceláře a pracovny</b>					
19	Kanceláře a pracovny s běžnou administrativní činností, chodby, pomocné prostory	47	63	37	27

Obrázek 44 - Akustické požadavky na chráněné prostory dle ČSN 73 0532 platné v roce 2006 .

Další příčinou, za niž zodpovídá projekční fáze návrhu stavby, je navržení vedení instalací v dělicí stěně. Jak je patrné z fotodokumentace (*Obrázek 45*), v každé dělicí stěně mezi učebnami byly vedeny instalace kabelových svazků. Každá stěna je rovněž opatřena dvěma kusy flexibilních dutých trubic z PVC  $\varnothing 40$  mm bez využití (*Obrázek 46*). Rovněž každá stěna obsahovala 2 zásuvky na 230 V z každé strany. Zásuvkové krabice naštěstí nebyly umístěny naproti sobě.



Obrázek 45 - Pohled na instalační průchody ústící do podhledu.



Obrázek 46 - Vyvedení kabelové chráničky  $\varnothing 40$  mm nad tabulí - bez využití.

## 2. Výpočtové metody s rozdílnou přesností.

Na měřené konstrukce byly aplikovány dostupné výpočtové metody, s nimiž v českých podmínkách obvykle pracuje projektant - akustik. Jak vyplývá z výsledků měření reálné situace (Tabulka 3, Tabulka 4), hodnoty dosažené výpočtem jsou po odečtení příslušných korekcí srovnatelné se skutečným stavem.

Překvapivý je relativně příznivý výsledek výpočtu podle EN 12354-1 (kapitola 4.4.7, 4.4.8). Zevrubný výpočet zahrnující boční cesty šíření zvuku je však velmi závislý na přesnosti vstupních parametrů, které jsou nejčastěji získány predikcí pomocí známých metod.

## 3. Nedostatečná kvalita provedení na stavbě.

Při provádění konstrukcí oddělujících chráněné prostory je zapotřebí věnovat zvýšenou pozornost zejména při zhotovení detailů napojení na okolní konstrukce. Konstrukční zásady jsou souhrnně zpracovány v [67], [68].



Obrázek 47 - Pohled na elektrorozvody v dělicí konstrukci.



Obrázek 48 - Provádění příček ve skeletu (04/2008).

Zejména v současné době hojné a všestranné použití PUR pěny na řešení většiny detailů je z hlediska stavební akustiky neakceptovatelné.



*Obrázek 49 - Pohled na připojení měřené konstrukce ke skeletu.*



*Obrázek 50 - Kabelové vedení pod stropem skeletu.*

Jak je patrné z fotografií pořízených v době výstavby (*Obrázek 49, Obrázek 50*), horní část výplňové konstrukce je vyzděna z materiálů jiné kvality. Jedná se o poslední řadu cihel řezaných po výšce, vyznačující se světlejším odstínem.

## 5 ZÁVĚR

Disertační práce řeší čtyři stěžejní části. Nejprve bylo provedeno měření vzduchové neprůzvučnosti značného množství vybraných zděných dělicích konstrukcí ve vícepodlažní administrativní budově postavené na bázi betonového skeletu. Na základě předchozích zkušeností byla v rámci práce z průběhu měření sestavena metodika měření vzduchové neprůzvučnosti.

Další oblast byla věnována pečlivému vyhodnocení měření. Z vyhodnocení vyplynulo stanovení kmitočtového průběhu neprůzvučnosti pro jednotlivé konstrukce.

Značná část práce se věnuje podrobnému popisu dostupných výpočetních metod, použitelných pro predikci stanovení vzduchové neprůzvučnosti na základě známých vstupních parametrů. Měřené případy jsou podrobeny výpočtu čtyřmi různými postupy. Výsledky výpočtů jsou porovnány.

Experiment v rámci disertační práce dokázal, že vzduchová neprůzvučnost dělicích konstrukcí ve stavbách kolem nás často nedosahuje požadovaných parametrů. Stížnosti uživatelů staveb jsou mnohdy oprávněné. Proto byly definovány nejčastější příčiny podílející se na vzniku takového jevu. Dále je popsána úprava konstrukce směřující ke splnění požadavků kladených na zvukovou izolaci včetně predikce výsledné hodnoty  $R'w$ .

### Přínosy pro realizaci v praxi

Disertační práce poukazuje na častý jev - nedostatečnou akustickou izolaci dělicích konstrukcí ve stavbách, což způsobuje zvýšený hluk v chráněných místnostech a podrážděnost uživatelů staveb.

Jedním z opatření vedoucích k zamezení nedostatečných parametrů vzduchové neprůzvučnosti je požadovat a kontrolovat splnění hodnot stanovených v ČSN 73 0532 [11] podle zvláštního předpisu před předáním stavby k užívání. Stanovení hodnoty  $R'w$  by se prokazovalo měřením na všech stavbách sloužících k pobytu osob.

Metodika vytvořená v rámci disertační práce si klade za cíl být nápomocna budoucím zájemcům o tuto problematiku k technicky správnému provedení měření s daným zařízením.

Součástí projekčního návrhu staveb je predikce, tedy předpoklad akustických parametrů dělicích konstrukcí. V rámci práce byly vytvořeny a otestovány výpočetní pomůcky v tabulkovém procesoru Microsoft Excel 2010 pro tři výpočetní metody, které jsou po příslušném (grafickém) dopracování vhodné k širokému použití.

### Doporučení pro další postup ve výzkumu

Přesnost výstupů z používaných predikčních metod závisí především na kvalitě vstupních údajů. Současná situace je neuspokojivá z hlediska všeobecné dostupnosti materiálových charakteristik pro jednotlivé druhy moderních stavebních materiálů. Projektanti jsou nuceni požadovat tyto informace individuálně po jednotlivých výrobcích. Dodané údaje často nekorespondují s daty uvedenými v propagačních materiálech.

Bylo by vhodné se zaměřit na zpracování souhrnného přehledu materiálových charakteristik napříč současným stavebním trhem a tato data implementovat do dostupného výpočetního softwaru (jako je např. Neprůzvučnost).

## 6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VAVERKA, J. *STAVEBNÍ FYZIKA 1 urbanistická, stavební a prostorová akustika*. BRNO: VUTIUM, 1998. 343 s. ISBN 80-214-1283-6.
- [2] ČECHURA, J.: *STAVEBNÍ FYZIKA 10, Akustika stavebních konstrukcí*, PRAHA: ČVUT, 1997, ISBN 80-01-01593-9.
- [3] WATTERS, B.G.: The transmission loss of some masonry walls. *J.Acoust.Soc.Am.*, July 1959 (898-911).
- [4] KAŇKA, J. *Akustika v architektuře*, PRAHA: ČVUT, 1996.
- [5] KAŇKA, J. *Akustika v stavebních objektech*, PRAHA: ČVUT, 2009, ISBN 978-80-7366-140-3.
- [6] TOMAŠOVIČ, P., et al. *Akustika budov: Stavební a urbanistická akustika*. První vydání. Bratislava: STU, 2009. 398 s. ISBN 9788022730198.
- [7] ŠAMÁNEK, Josef, *Zvuk a hluk v architektuře*. První vydání. Praha: Československé středisko výstavby a architektury, 1971. 124 s. DT 534.83.
- [8] ŠAMÁNEK, Josef, *Konstrukce pozemního stavitelství : Tepelné, zvukové a světelné prostředí*. Vydání první. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1968. 156 s. 05-033-68.
- [9] SMETANA, Ctirad, et al. *Hluk a vibrace: Měření a hodnocení*. 1. vydání. Praha: MTT, 1998. 188 s. ISBN 80-901936-2-5.
- [10] SKOTNICOVÁ, I, ŘEZÁČ, M. a VAVERKA, J. *Odhlučnění staveb*. První vydání. Brno: ERA, 2006. 132 s. ISBN 80-7366-070-9.
- [11] ČSN 73 0532 *Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků - Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2010. 23 s.
- [12] ČSN EN ISO 140-4 *Akustika - Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 4: Měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi v budovách*.
- [13] ČSN ISO 717-1 *Akustika - Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 1: Vzduchová neprůzvučnost*. Praha: Český normalizační institut, 1998. Změna A1 2007.
- [14] ČSN EN 20140-2 *Akustika - Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 2: Určení, ověření a aplikace přesných údajů*. ČNI, březen 2003.
- [15] ČSN EN 12354-1 *Stavební akustika - Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků - Část 1: Vzduchová neprůzvučnost mezi místnostmi (2001)*
- [16] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- [17] SVOBODA, Z. *Neprůzvučnost 2005* [počítačový program].

### FIREMNÍ PODKLADY

- [18] Pavilon velkých poslucháren VŠB-TUO, FAST, Dokumentace pro provedení stavby, OHL ŽS, a.s., 07/2007.
- [19] <[http:// www.porotherm.cz](http://www.porotherm.cz)> - stavební materiál



## 7 AUTORSKÉ PUBLIKACE

Publikace jsou řazeny chronologicky. Zvýrazněné šedým odstínem se týkají problematiky stavební akustiky.

### 2004

- [20] ORAVEC, P. *Energeticky úsporný dům*. In V. mezinárodní konference SVOČ, Ostrava: VŠB - TUO, 2004, ISBN 80-248-0569-3.
- [21] ORAVEC, P. *Příklad energeticky úsporného domu*. Interiér, 6/2004, s. 30-32, ISSN 1214-4584.

### 2005

- [22] ORAVEC, P. *Porovnání možností vytápění v rodinném domě o tepelné ztrátě 12 kW*. In Juniorstav 2005, Brno: VUT Brno, 2005, s. 195-200, ISBN 80-214-2826.
- [23] ORAVEC, P. *Efektivita vytápění v rodinném domku*. Materiály pro stavbu, Praha: Springer media CZ, 2005, s. 50-53, ISSN 1213-0311.
- [24] ORAVEC, P., KUBENKOVÁ K. *Energetická analýza bytového domu v podhorském prostředí*, In Budova a energia 6 - Podbanské, Košice: 2005, s. 137-147, ISBN 80-8073-353-8.

- [25] ORAVEC, P., SKULINOVÁ, D. a SKOTNICOVÁ, I. *Akustické izolační schopnosti interiérových příček a stěn*. In Integrovaný přístup k projektování stavebních konstrukcí. Ostrava: VŠB-TUO, FAST, 2005. ISBN 80-248-09974.

### 2006

- [26] ORAVEC, P., FERKO, M. A ČESELSKÝ, J. *Aplikace Facility managementu do praxe*. In Juniorstav 2006, Brno: VUT Brno, 2006, s. 235-238, ISBN 80-214-3108-3.
- [27] ORAVEC, P., BALCAR, Z. *Vedlejší náklady na vytápění rodinného domku*. In Juniorstav 2006, Brno: VUT Brno, 2006, s. 149-154, ISBN 80-214-3108-3.
- [28] ORAVEC, P. *Akustické aspekty při realizacích střešních vestaveb*. In Poruchy a rekonstrukce obvodových plášťov a striech - Podbanské, Košice: Technická univerzita, 2006, s. 139-142, ISBN 80-232-0259.
- [29] ORAVEC, P., GALDA, Z a KUBENKOVÁ, K. *Acoustic requirements for constructions in central europe*. In Topical Issues of Rational Use of Natural Resources - St. Petersburg, St. Petersburg: St. Petersburg State Mining Institute, 2006, ISBN 0135-3500.
- [30] GALDA, Z., KUBENKOVÁ, K. A ORAVEC, P. *Interaction of power engineering and living environment in the Czech Republic*. In Topical Issues of Rational Use of Natural Resources - St. Petersburg, St. Petersburg: St. Petersburg State Mining Institute, 2006, ISBN 0135-3500.
- [31] ORAVEC, P. *Diagnostika akustických vlastností příček v budově pro výukové účely*. In Letní škola projektu TRANSPFAST, Ostrava: VŠB- TUO, 2006, ISBN 80-248-1156-1.
- [32] ORAVEC, P. *Analýza dřevostavby po více než čtvrtstoletí užívání*. Střechy, fasády, izolace, X/2006, Ostrava: Mise, 2006, s. 54-57, ISSN 1212-0111.
- [33] ORAVEC, P., KOZÁKOVÁ, M. *Problematika transpozice hluku v administrativní budově bývalého dolu Odra*. In Poruchy a rekonstrukce. Ostrava: VŠB-TUO, FAST, 2006. ISBN 80-248-1157-X.
- [34] ORAVEC, P. *Akustický rozbor dělicích konstrukcí v regenerované budově industriálního sídla*. In Staticko-konstrukční a stavebno-fyzikální problémy



stavebných konstrukcí - Štrbské Pleso, Košice: Technická univerzita, 2006, s. 93-94, ISBN 80-8073-677-4, CD ISBN 80-8073-678-2.

- [35] SKULINOVÁ, D., SKOTNICOVÁ, I. A ORAVEC, P. *Stavební akustika - zvukově izolační vlastnosti mezibytových příček a stěn*. In Technické listy 2005, Díl 1: Soubor úvodních technických listů. Praha: ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03486-0
- [36] SKULINOVÁ, D., SKOTNICOVÁ, I. A ORAVEC, P. *Building acoustics - sound isolation of interapartment walls and separating walls*. In Technical Sheets 2005, Volume 1: Initial Technical Sheets. Praha: ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03630-8.

## 2007

- [37] KOZÁKOVÁ, M., ORAVEC, P. *Využití měřicího systému Brüel & Kjær pro diagnostiku akustických parametrů*. In Juniorstav 2007, Brno: VUT Brno, 2007, s. 65, ISBN 978-80-214-3337-3.
- [38] ORAVEC, P. *Apercepce rekonstrukce stavby na bázi dřeva*. In Poruchy a rekonstrukcie obvodových plášťov a striech - Podbanské, Košice: Technická univerzita, 2007, s. 129-132, ISBN 978-80-232-0275-5.
- [39] ORAVEC, P. *Vliv pohltivé výplně kapoty na odhlučnění*. In Životnost a spolehlivost materiálů a konstrukcí. Ostrava: FAST VŠB-TU Ostrava, 2007, s. 194-198, ISBN 978-80-248-1439-1.
- [40] ORAVEC, P. *Building regeneration from acoustic points of view*. In Sustainable Urban Areas - Rotterdam, Delft: Delft University of Technology, 2007, ISBN 978-90-812015-1-3.
- [41] ORAVEC, P. *Chování střechy z azbestocementových šablon*. Informace ČSSI, IV/2007, Ostrava: ČSSI, 2007, s. 2-3, ISSN 1213-4112.
- [42] ORAVEC, P. *Zkušenosti s azbestocementovou krytinou a možnosti jejího nahrazení*. Stavebnictví a interiér, 9/2007, Hradec Králové: Vega, spol. s r.o., 2007, s. 28-31, ISSN 1211-6017.
- [43] ORAVEC, P., KOZÁKOVÁ, M. *Acoustic aspects of sustainable building*. In CESB - Prague, Praha: ČVUT, 2007, ISBN 978-80-903807-8-3.
- [44] ORAVEC, P., BURŠOVÁ, M. *Srovnávací měření v akustické komoře*. In Poruchy a rekonstrukce. Ostrava: VŠB-TUO, FAST, 2007. ISBN 978-80-248-1404-9.
- [45] JAŠEK, M., ORAVEC, P. *Vliv polohy okna u zatepleného panelového domu T06B - BTS*. In Poruchy a rekonstrukce. Ostrava: VŠB-TUO, FAST, 2007. ISBN 978-80-248-1404-9.
- [46] SKULINOVÁ, D., SKOTNICOVÁ, I. A ORAVEC, P. *Stavební akustika - Etalonážní a technická měření*. In Technické listy 2007 Díl 1: Integrovaný návrh konstrukcí a systémů pro výstavbu. Praha: ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-04175-8.
- [47] SKULINOVÁ, D., SKOTNICOVÁ, I. A ORAVEC, P. *Building acoustics - Standardised and technical measurements*. In Technical Sheets 2007 Part 1: Integrated Design of Structures and Systems for Construction. Praha: ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-04178-9.

## 2008

- [48] BURŠOVÁ, M., ORAVEC, P. *Snižování hluku u náběhových a pojistných ventilů parních kotlů*. In Juniorstav 2008, Brno: VUT Brno, 2008, s. 51, ISBN 978-80-86433-45-5.
- [49] ORAVEC, P., JAŠEK, M. *Regenerace domu T 06B-BTS od projektu k realizaci*. In Poruchy a rekonstrukcie obvodových plášťov a striech - Podbanské, Košice: Technická univerzita, 2008, s. 151-156, ISBN 978-80-232-0290-8.

- [50] ORAVEC, P., JAŠEK, M. *Uspořádání osazení výplní stavebních otvorů při zateplování. Užitečný vzor* zapsaný na Úřadu průmyslového vlastnictví pod číslem 18847 dne 28.08.2008, <http://isdv.upv.cz/portal/pls/portal/portlets.pts.det?xprim=1072876&lan=cs>
- [51] ORAVEC, P. *Akustická ochrana uživatelů staveb*. Stavitel, 8/2008, Praha: Economia, 2008, s. 20-21, ISSN 1210-4825.
- [52] ORAVEC, P. *Experience from measuring acoustic parameters in buildings*. In sb08 Book of Abstracts, Melbourne: ASN Events, 2008.
- [53] LABUDEK, J., ORAVEC, P. *Příklad minimalizace energetické náročnosti*. Stavitel, 9/2008, Praha: Economia, 2008, s. 13-15, ISSN 1210-4825.
- [54] ORAVEC, P. *Řešení mezibytových stěn a příček v návaznosti na zajištění vzduchové neprůzvučnosti*. In Poruchy a rekonstrukce. Ostrava: VŠB-TUO, FAST, 2008. ISBN 978-80-248-1886-3.
- [55] BURŠOVÁ, M., ORAVEC, P. *Snižování hluku u náběhových a pojistných ventilů parních kotlů. Topenářství instalace* 8/2008, Praha: Technické vydavatelství Praha, 2008, s. 46-47, ISSN 1211-0906.
- [56] SKULINOVÁ, D., SKOTNICOVÁ, I. A ORAVEC, P. *Stavební akustika - měření a řešení detailů stavebních konstrukcí* In Technické listy 2008, Díl 1: Soubor technických listů. Praha: ČVUT, 2008.
- [57] SKULINOVÁ, D., SKOTNICOVÁ, I. A ORAVEC, P. *Building acoustics - measurement and resolution details of structures* In Technical Sheets 2008, Volume 1: Initial Technical Sheets. Praha: ČVUT, 2008.
- 2009**
- [58] ORAVEC, P., JAŠEK, M. *Osazení výplní otvorů při zateplování*. In Juniorstav 2009, Brno: VUT Brno, 2009, s. 56, ISBN 978-80-214-3810-1.
- [59] JAŠEK, M., ORAVEC, P. *Sanace vnější železobetonové vrstvy panelu dodatečným přikotvením*. In Juniorstav 2009, Brno: VUT Brno, 2009, s. 29, ISBN 978-80-214-3810-1.
- [60] ORAVEC, P., JAŠEK, M. *Efficiency of various approaches used in the installation of doors and windows*. In Mladý vedec 2009, Košice: TU Košice, 2009, ISBN 978-80-553-0176-1.
- [61] ORAVEC, P., JAŠEK, M. *Aplikace osazení oken u vícevrstevných plášťů*. Materiály pro stavbu, 4/2009, Praha: Springer media CZ, 2009, s. 40-43, ISSN 1213-0311.
- [62] ORAVEC, P., BURŠOVÁ, M. *Akustické vlastnosti referenční dřevostavby*. In Dřevostavby 2009 - Oščadnica. Žilina: Žilinská univerzita, 2009, s. 157-162, ISBN 978-80-970171-0-1.
- [63] ORAVEC, P., SKOTNICOVÁ, I. *Korekce akustické kvality budov na územích se zvýšenou industriální činností*. In IDEAS 09 - Ostrava, Ostrava: Cideas, 2009, s. 39-40, ISBN 978-80-248-2091-0.
- [64] KUBENKOVÁ, K., ORAVEC, P. *Tepelně - technická problematika obvodových plášťů dřevostaveb*. In Dřevostavby a konstrukce na bázi dřeva, Štramberk. Ostrava: VŠB-TUO, FAST, 2009. ISBN 978-80-248-2096-5.
- [65] JAŠEK, M., ORAVEC, P. *Regenerace vnější železobetonové vrstvy panelu*. Materiály pro stavbu, 9/2009, Praha: Springer media CZ, 2009, s. 36-37, ISSN 1213-0311.
- [66] SKOTNICOVÁ, I., BURŠOVÁ, M., ORAVEC, P. A DOSTÁL, J. *Akustické hodnocení dřevěného trámového stropu bývalé úřednické kolonie na ul. Ruská, Ostrava-Vítkovice*. In „TRWAŁOŚĆ MATERIAŁÓW I KONSTRUKCJI” - Kamień Śląski, Opole: Politechnika Opolska, 2009.

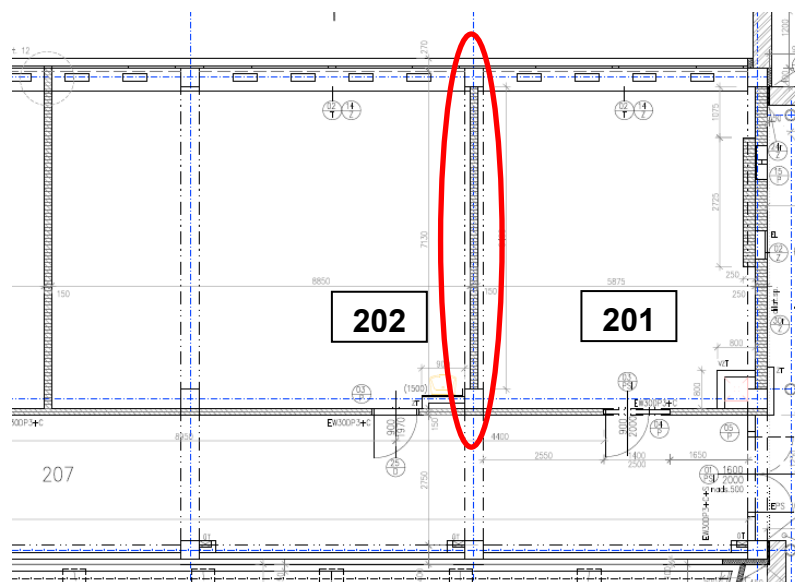
- [67] SKULINOVÁ, D., SKOTNICOVÁ, I. A ORAVEC, P. *Konstrukční úpravy z hlediska zlepšování vzduchové neprůzvučnosti stěn a příček*. In Technické listy 2009, Díl 1: Soubor technických listů. Praha: ČVUT, 2009. ISBN 978-80-01-04686-9.
- [68] SKULINOVÁ, D., SKOTNICOVÁ, I. A ORAVEC, P. *Structural adjustment in therms of improving air soundproof walls and partitions*. In Technical Sheets 2009, Volume 1: Initial Technical Sheets. Praha: ČVUT, 2009. ISBN 978-80-01-04686-9
- 2010**
- [69] KUBEČKOVÁ, D., KUBENKOVÁ, K., ORAVEC, P. *Sanace a konverze budov industriálních ploch, stavebně technický průzkum*. In „Kulturní památky a opuštěné objekty“ - Hradec nad Moravicí, Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2010, ISBN 978-80-248-2224-2.
- [70] KUBENKOVÁ, K., ORAVEC, P. *Vzduchotěsnost dřevostavby v Bruzovicích*. In Dřevostavby 2010 - Habovka. Žilina: Žilinská univerzita, 2010, s. 59-62, ISBN 978-80-970171-2-5.
- [71] ORAVEC, P., KUBENKOVÁ, K., GALDA, Z. *Resumption of the Panel Building House Intent on Decrease of Emissions and Living Comfort*. In ENHR2010 Book of Abstracts, Istanbul: Istanbul Technical University, 2010.
- [72] KUCHARCZYK, A., PAWLIK, K., ORAVEC, P. *Monitoring warunków cieplno-wilgotnościowych w obiektach zabytkowych*. In Nowoczesne Materiały Kompozytowe - Opole - Turawa. Opole: Politechnika Opolska, 2010, s. 61-65, ISBN 978-83-923680-0-7.
- [73] ORAVEC, P., JAŠEK, M. *Změna polohy výplní stavebních otvorů při zateplování*. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava, řada stavební, 2010, roč. 10, č. 1. Ostrava: VŠB-TUO, 2010, s. 85-92. ISBN 978-80-248-2332-4. ISSN 1213-1962.
- [74] KUBEČKOVÁ, D., KUBENKOVÁ, K., GALDA, Z. a ORAVEC, P. *Definice zásad využitelnosti budov industriálních sídel s ohledem na tepelně technickou a energetickou problematiku, metodika hodnocení objektů*. In Technické listy 2010, Díl 1: Soubor technických listů. Praha: ČVUT, 2010.
- [75] SKOTNICOVÁ, I., ORAVEC, P., et al. *Dřevostavby a dřevěné konstrukce: I. a II. díl*. První vydání. Brno: CERM, 2010. 309 s. ISBN 978-80-7204-732-1
- 2011**
- [76] ORAVEC, P., GALDA, Z. *Application of modern diagnostic method in Civil Engineering*. In International conference on Military Technologies 2011 - Brno. Brno: University of Defence in Brno, 2011, s. 125–132, ISBN 978-80-970171-0-1.
- [77] ORAVEC, P., TESLÍK, J., ZEMAN, K. A LABUDEK, J. *Zjišťování tepelně izolačních vlastností izolačních dvojskel*. In Závěrečná konference projektu CZ-PL. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011, ISBN 978-80-248-2224-2.
- [78] ČERNÍKOVÁ, M., HRUBÁ, B., LABUDEK, J., ORAVEC, P. A BAĐUROVÁ, S. *Srovnávací měření průvzdušnosti obálky budovy pasivního domu*. In Structura 2011. Ostrava: FAST VŠB-TU Ostrava, ISBN 978-80-248-2521-2.
- [79] KUBEČKOVÁ, D., GALDA, Z., ORAVEC, P., HAMALA, M., KOZÁKOVÁ, M., *Definice kritérií a zásad pro konverze budov industriálních sídel*. In Technické listy 2011, Díl 1: Soubor technických listů. Praha: ČVUT, 2011.
- [80] ORAVEC, Pavel., *Analýza vzduchové neprůzvučnosti konstrukcí: autoreferát k disertační práci*. Ostrava, 2011. 33 s. Disertační práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-2539-7.

## 8 PŘÍLOHY

### 8.1 Výsledky měření vzduchové neprůzvučnosti mezi učebnami

#### 8.1.1 Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 201-202

Půdorys měřicí situace



Obrázek 51 - Fragment půdorysu pavilonu „I“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

#### Charakteristika místností

vysílací místnost 201		18,3 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 202	
typ	učebna	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	učebna
objem	125,2 m <sup>3</sup>		objem	194,4 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	PVC
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky

#### Vybavenost místností



Obrázek 52 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 201.



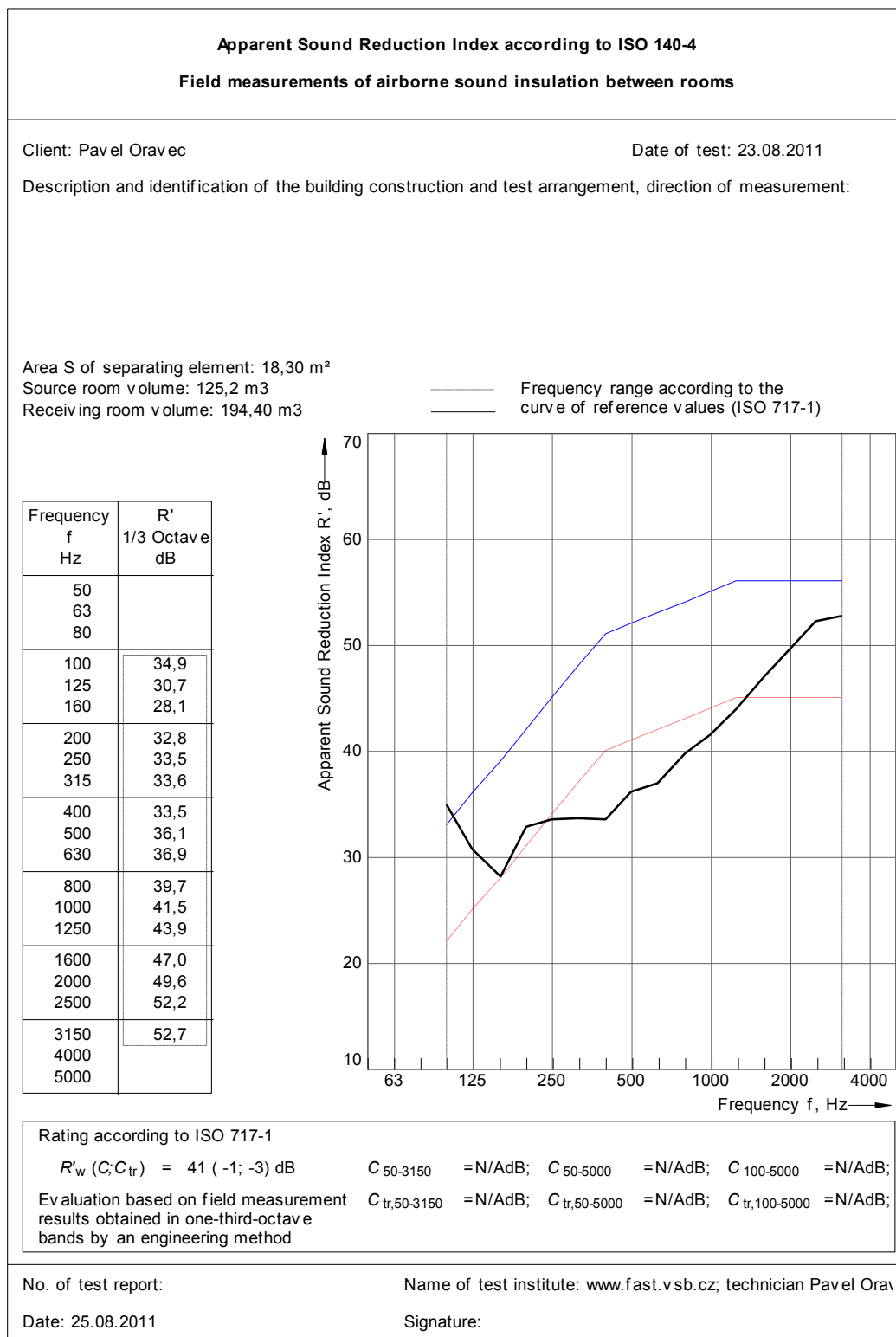
Obrázek 53 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 202.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 aku 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

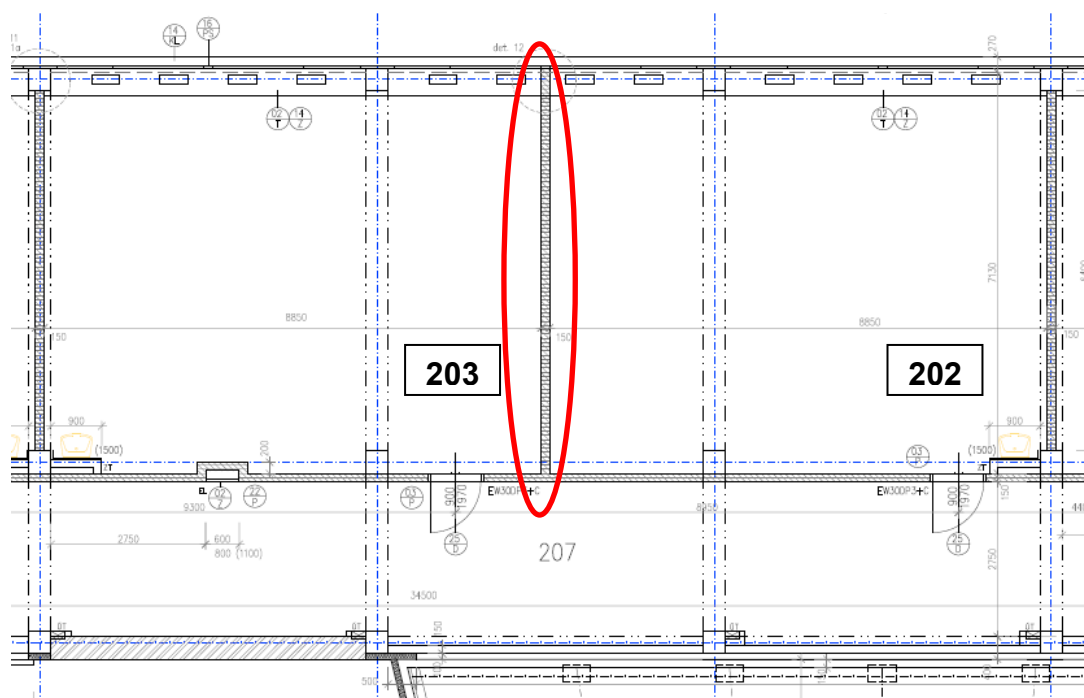
$R'_w = 41$  dB



Obrázek 54 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 201-202.

### 8.1.2 Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 202-203

#### Půdorys měřící situace



Obrázek 55 - Fragment půdorysu pavilonu „I“ se značením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

#### Charakteristika místností

vysílací místnost 202		23,3 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 203	
typ	učebna	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	učebna
objem	194,4 m <sup>3</sup>		objem	193,8 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	PVC
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky

#### Vybavenost místností



Obrázek 56 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 202.



Obrázek 57 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 203.

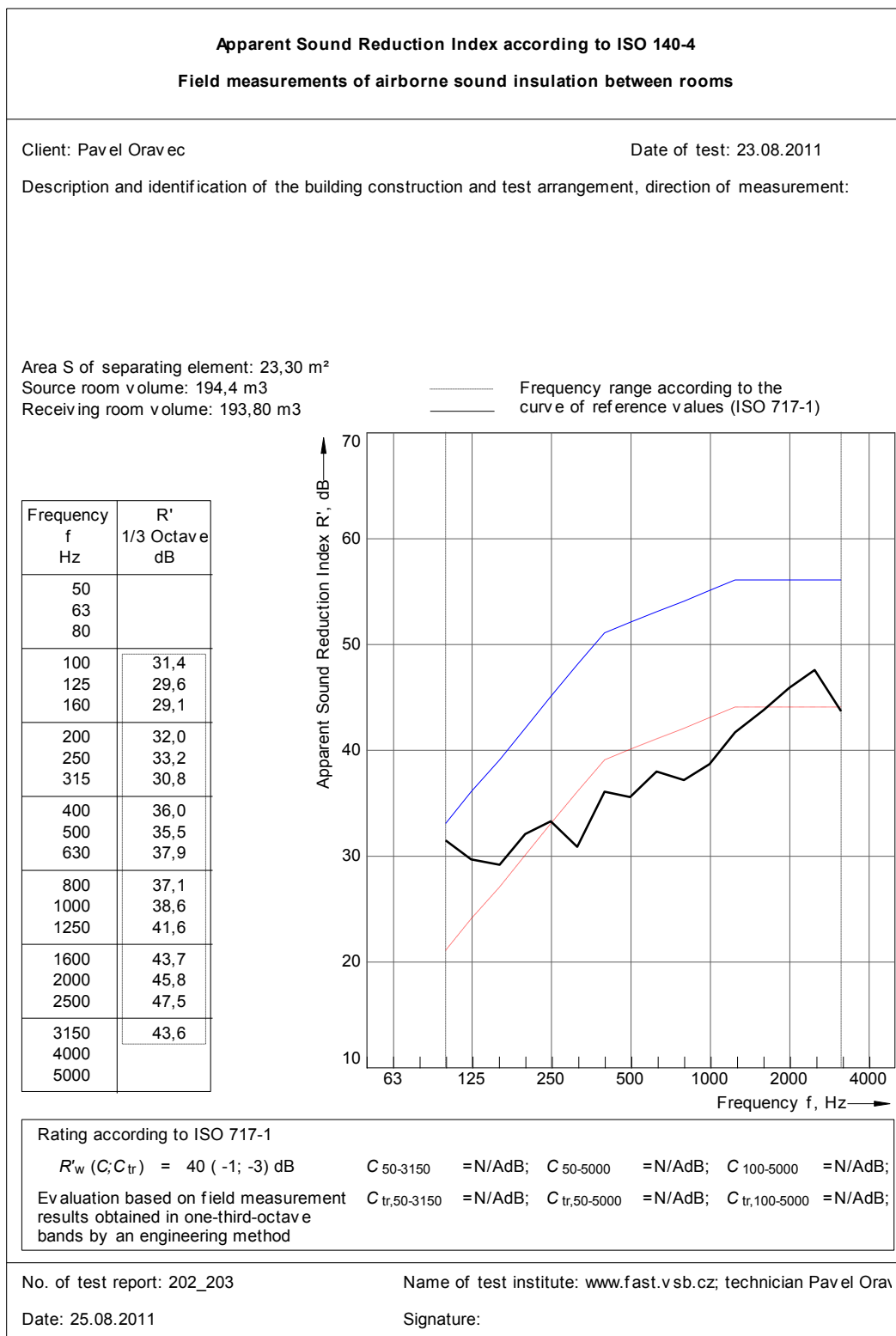


**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 a 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

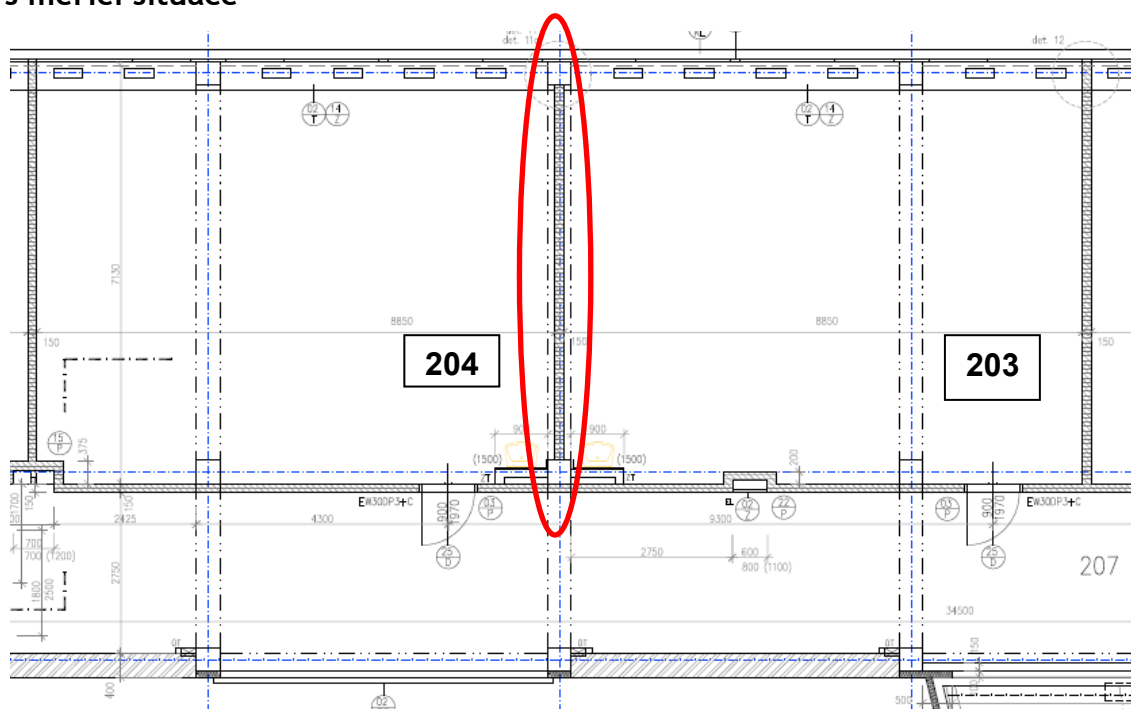
$R'_w = 40$  dB



**Obrázek 58 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 202-203.**

### 8.1.3 Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 203-204

#### Půdorys měřící situace



Obrázek 59 - Fragment půdorysu pavilonu „I“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

#### Charakteristika místností

vysílací místnost 203		18,3 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 204	
typ	učebna	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	učebna
objem	193,8 m <sup>3</sup>		objem	194,1 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	PVC
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky

#### Vybavenost místností



Obrázek 60 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 203.



Obrázek 61 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 203.

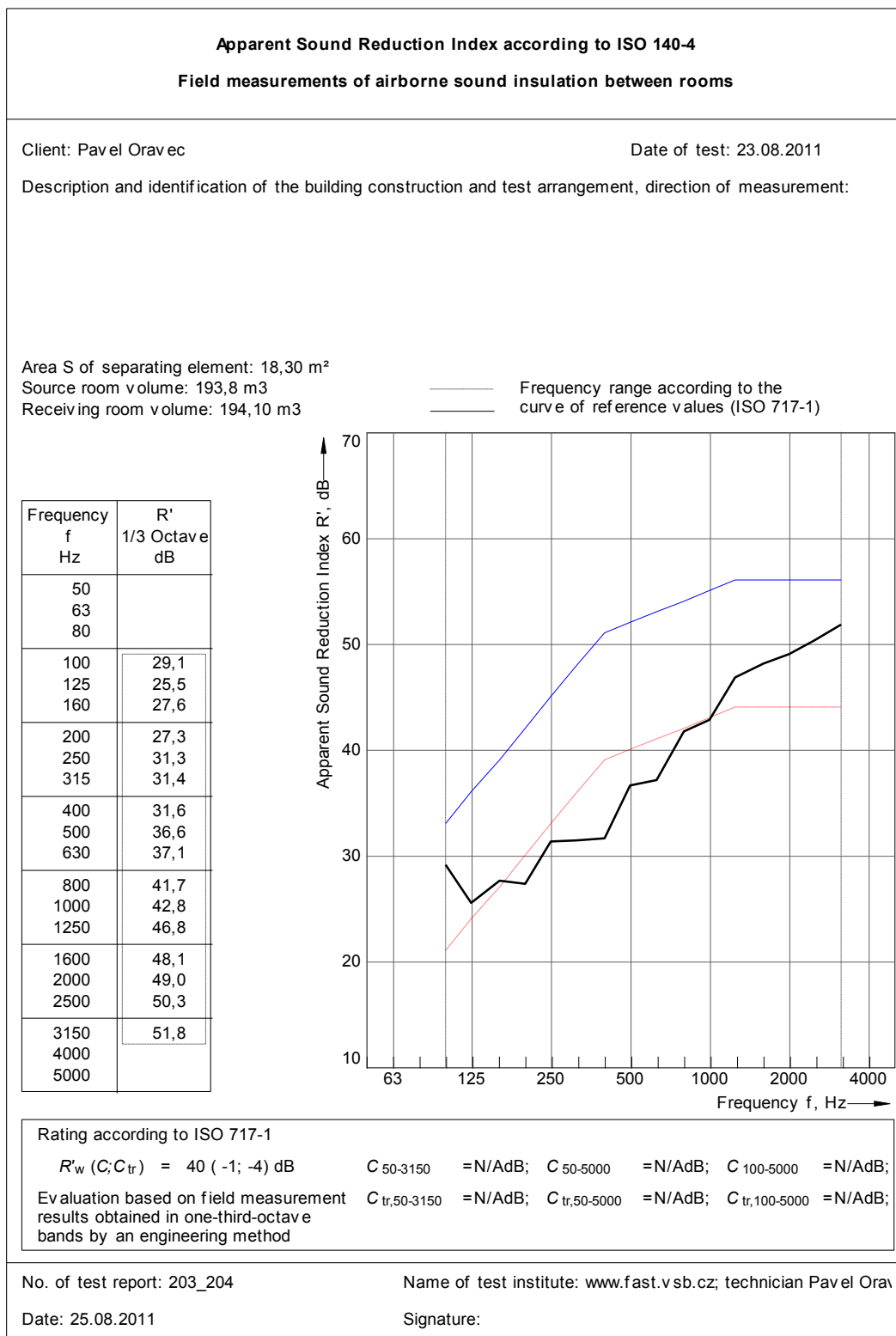


**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 a 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

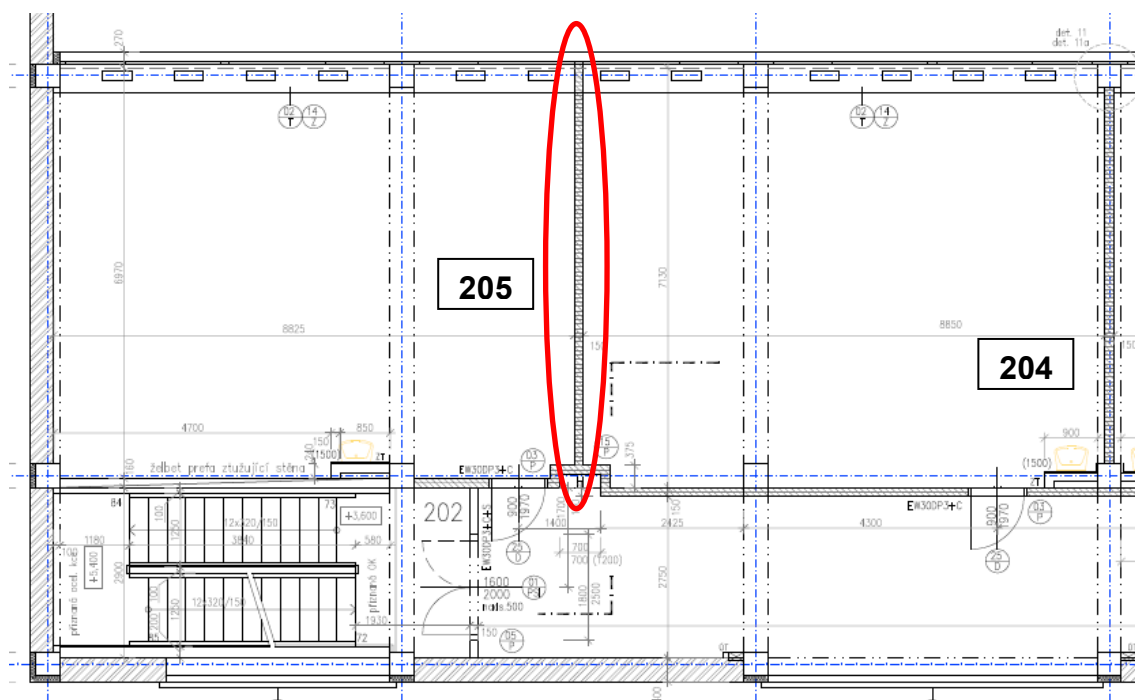
$R'_w = 40$  dB



**Obrázek 62 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 203-204.**

## 8.1.4 Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 205-204

## Půdorys měřicí situace



Obrázek 63 - Fragment půdorysu pavilonu „I“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

## Charakteristika místností

vysílací místnost 205		22,1 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 204	
typ	učebna	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	učebna
objem	188,8 m <sup>3</sup>		objem	194,1 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	PVC
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky

## Vybavenost místností



Obrázek 64 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 205.



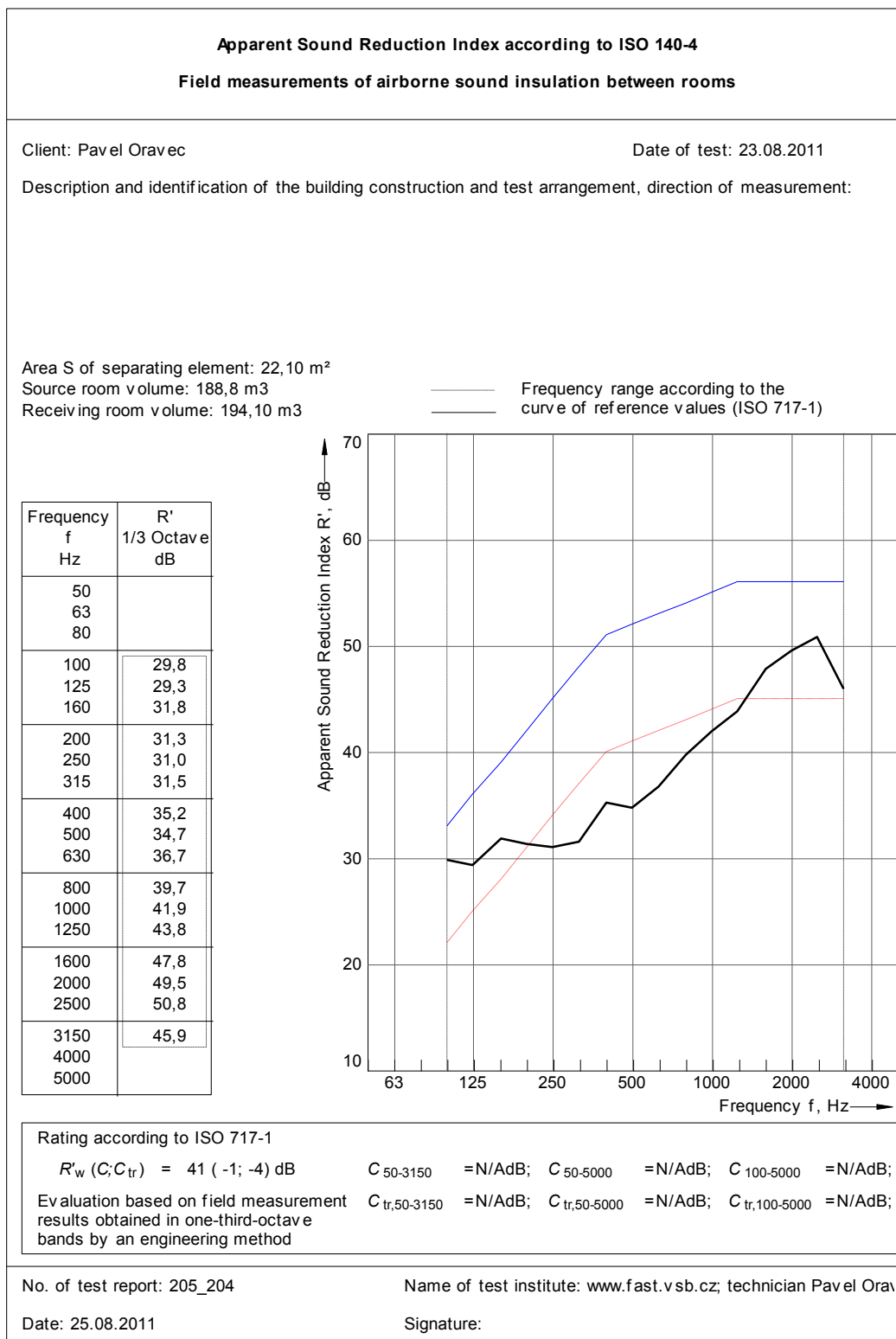
Obrázek 65 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 204.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 aku 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

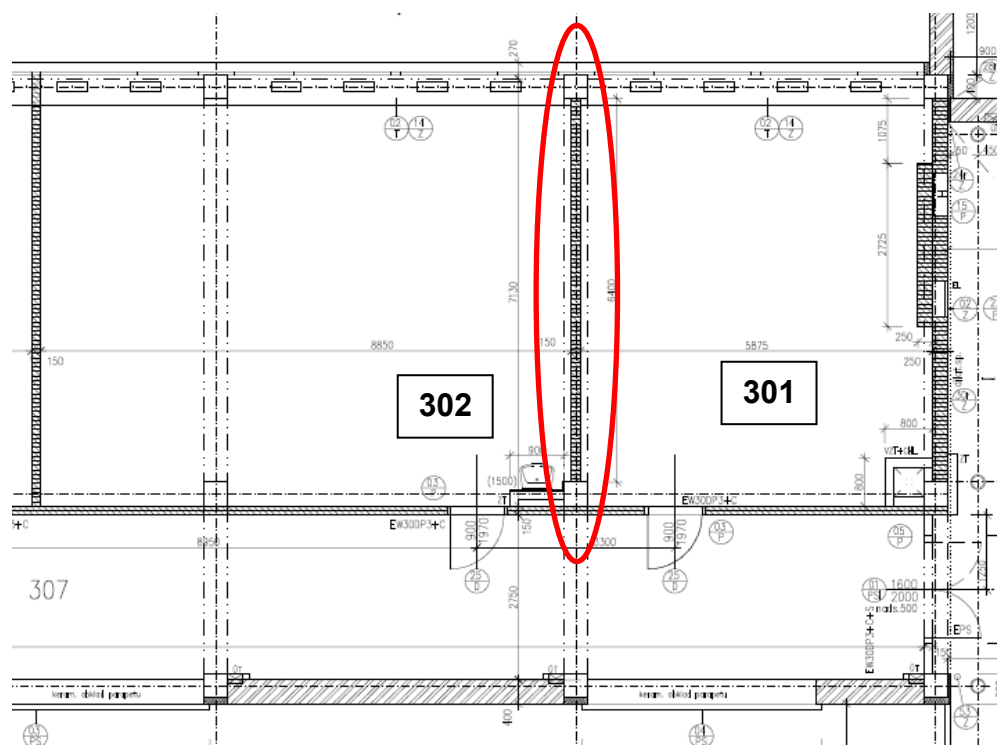
$R'_w = 41$  dB



Obrázek 66 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 205-204.

## 8.1.5 Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 301-302

## Půdorys měřicí situace



Obrázek 67 - Fragment půdorysu pavilonu „I“ se značením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

## Charakteristika místností

vysílací místnost 301		18,3 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 302	
typ	učebna	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	učebna
objem	125,2 m <sup>3</sup>		objem	194,4 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	PVC
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky

## Vybavenost místností



Obrázek 68 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 301.



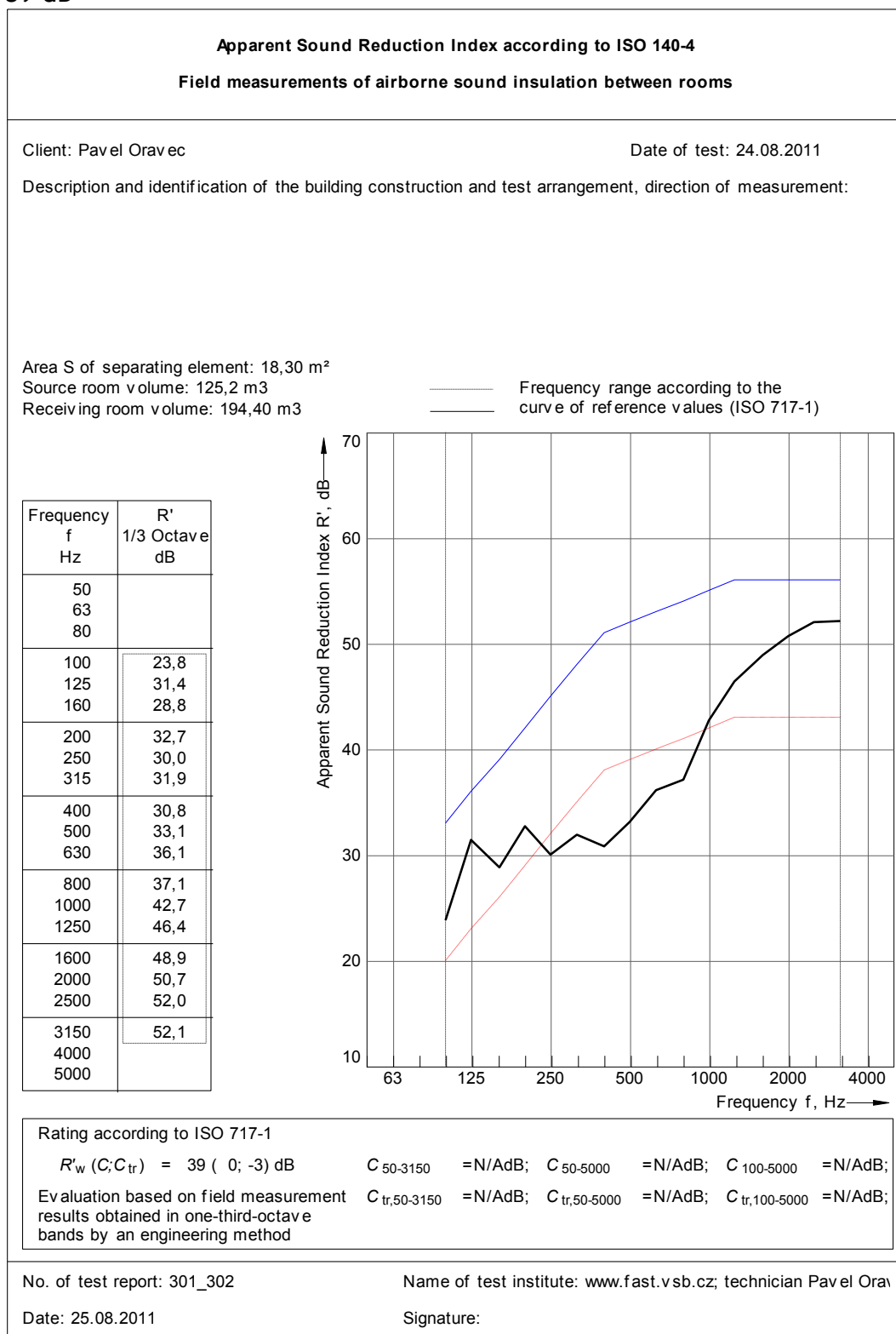
Obrázek 69 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 302.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 aku 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

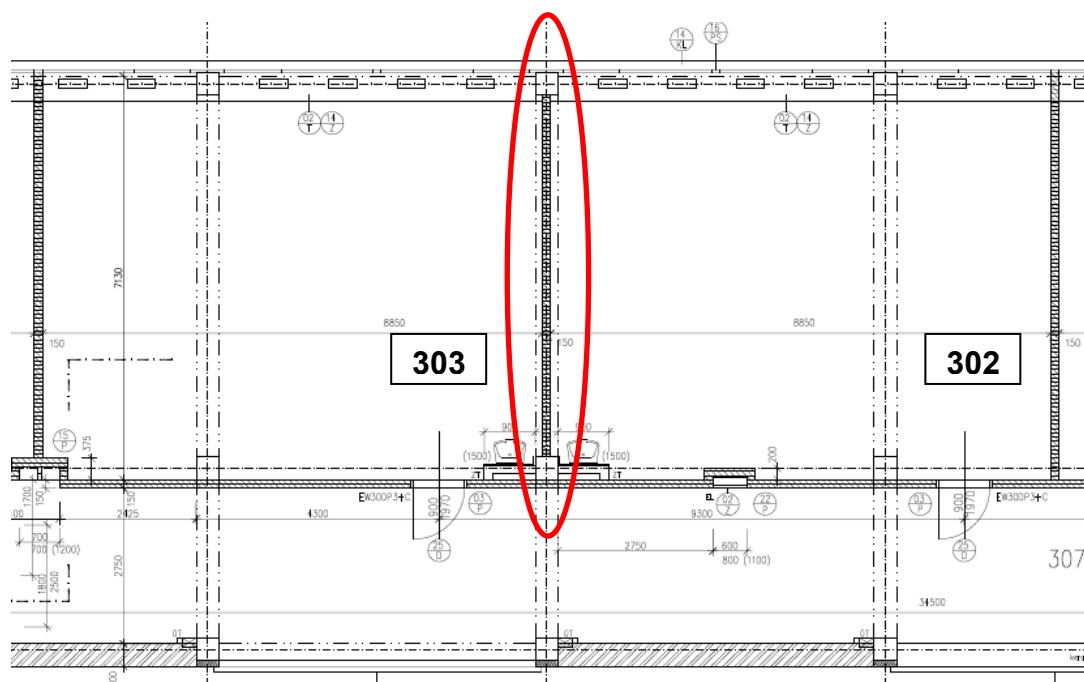
$R'_w = 39 \text{ dB}$



**Obrázek 70 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 301-302.**

### 8.1.6 Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 303-302

#### Půdorys měřící situace



Obrázek 71 - Fragment půdorysu pavilonu „I“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

#### Charakteristika místností

vysílací místnost 303		23,3 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 302	
typ	učebna	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	učebna
objem	193,8 m <sup>3</sup>		objem	194,4 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	PVC
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky

#### Vybavenost místností



Obrázek 72 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 303.



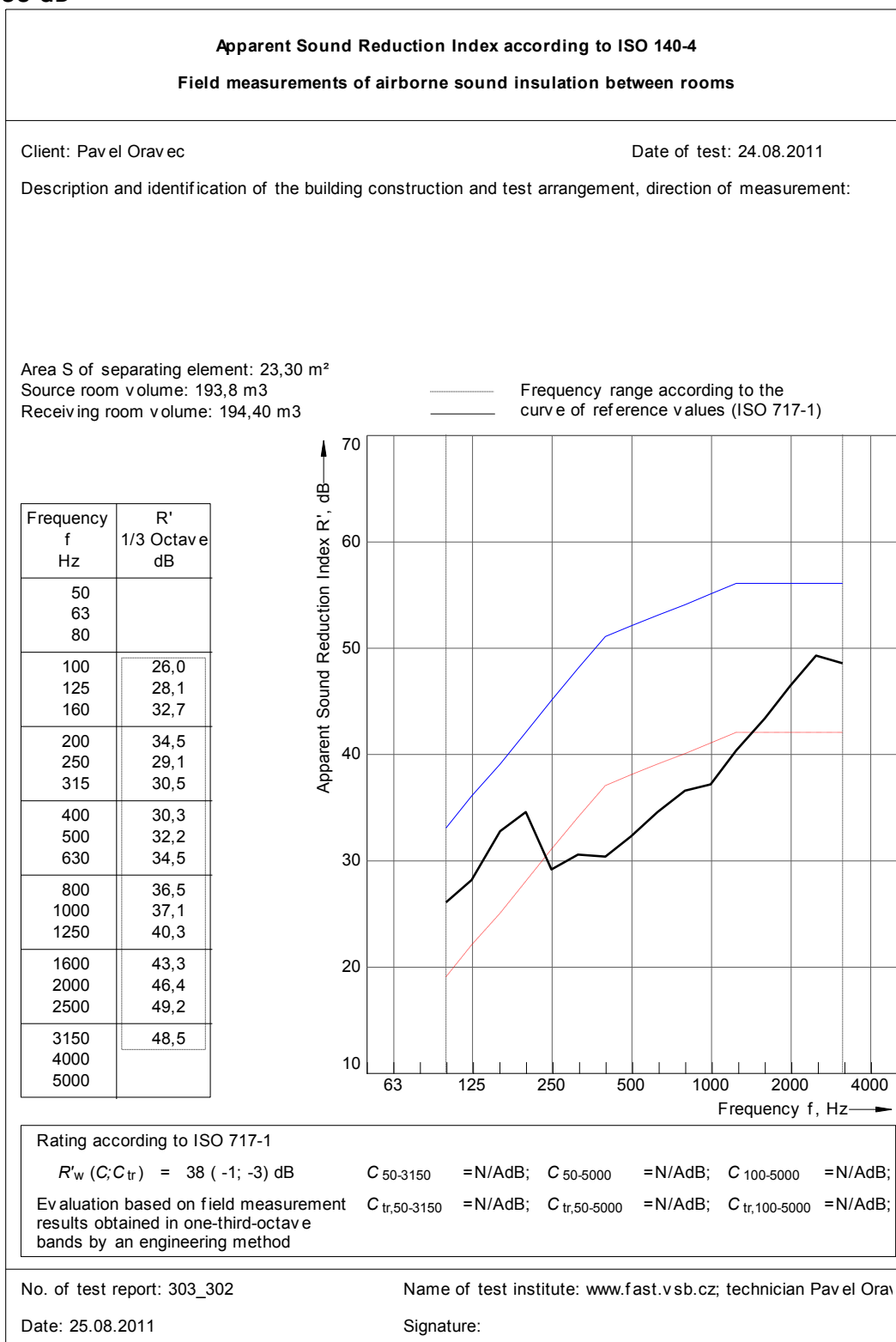
Obrázek 73 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 302.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 aku 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

$R'_{w} = 38 \text{ dB}$

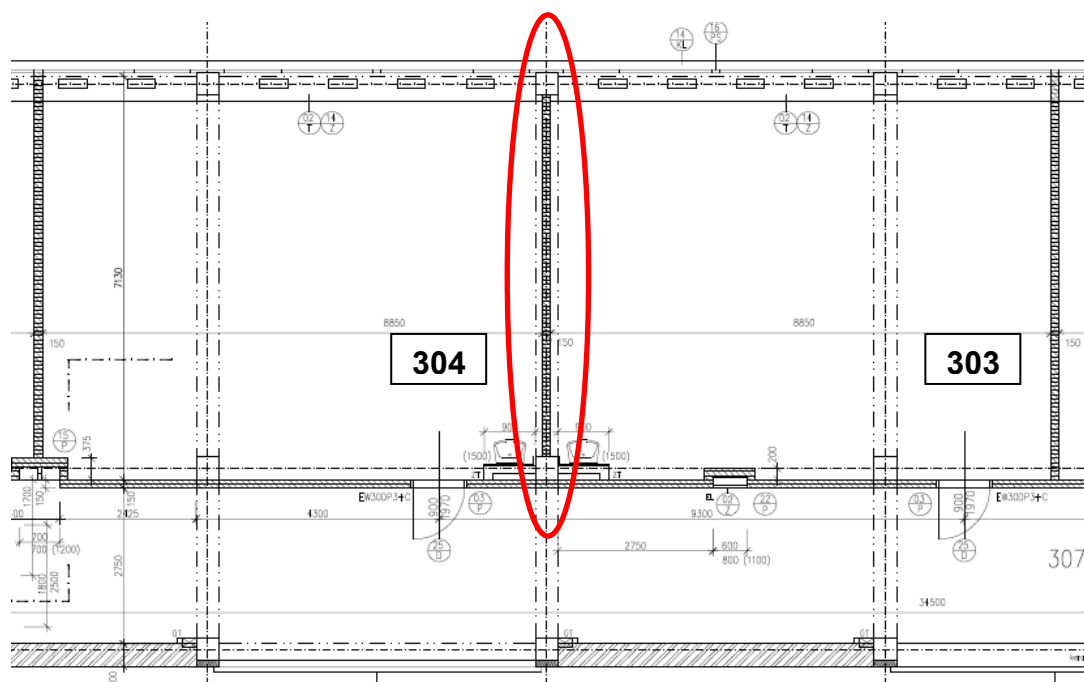


Obrázek 74 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 303-302.



## 8.1.7 Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 304-303

## Půdorys měřící situace



Obrázek 75 - Fragment půdorysu pavilonu „I“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

## Charakteristika místností

vysílací místnost 304		18,3 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 303	
typ	učebna	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	učebna
objem	194,1 m <sup>3</sup>		objem	193,8 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	PVC
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky

## Vybavenost místností



Obrázek 76 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 304.



Obrázek 77 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 303.

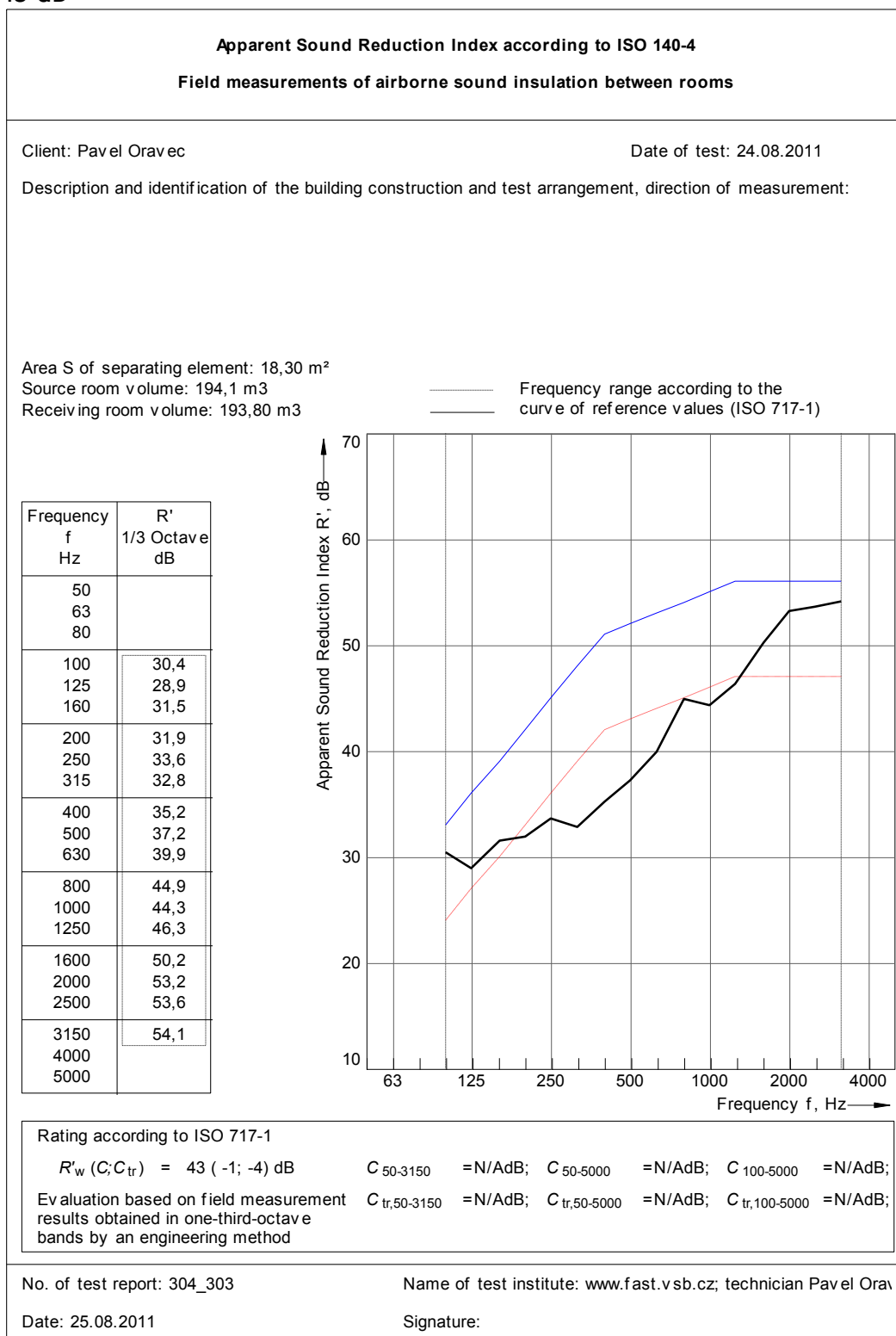


**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 aku 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

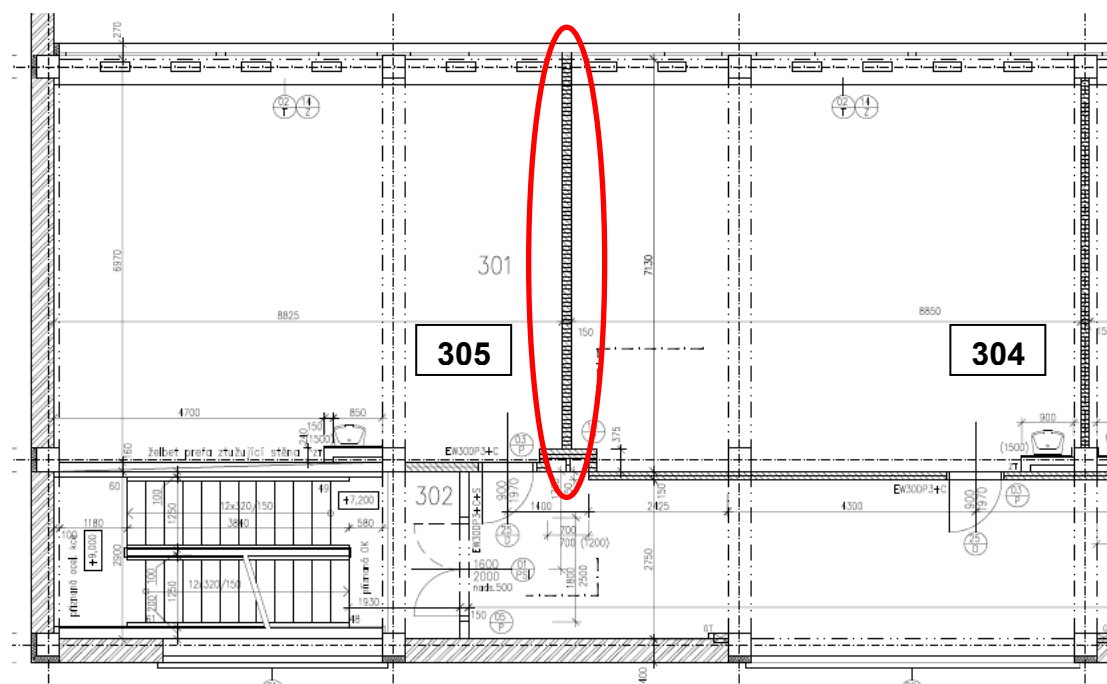
$R'_{w} = 43 \text{ dB}$



**Obrázek 78 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 304-303.**

## 8.1.8 Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 305-304

## Půdorys měřící situace



Obrázek 79 - Fragment půdorysu pavilonu „I“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

## Charakteristika místností

vysílací místnost 305		22,1 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 304	
typ	učebna	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	učebna
objem	188,8 m <sup>3</sup>		objem	194,1 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	PVC
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skříňky		vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skříňky

## Vybavenost místností



Obrázek 80 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 305.



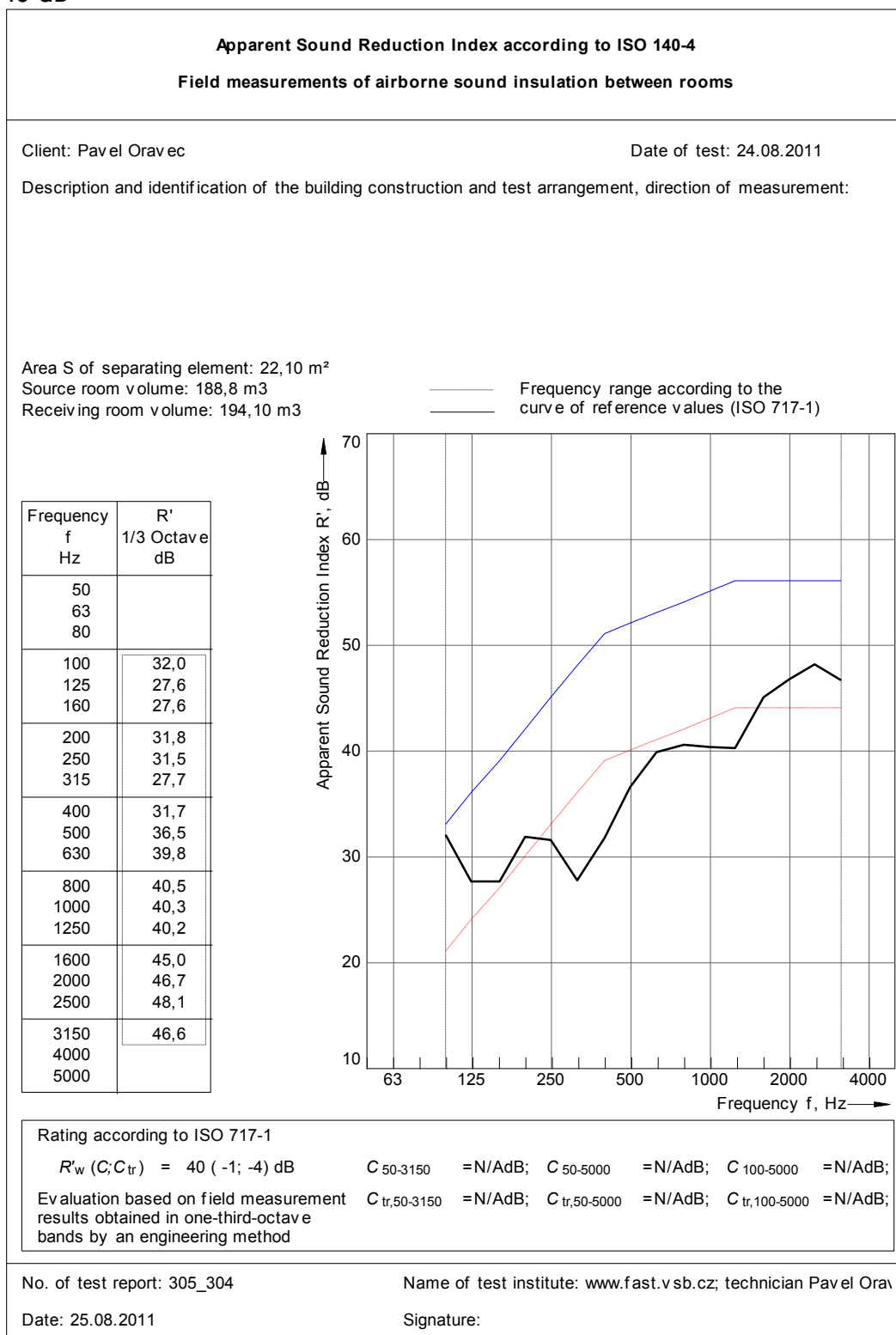
Obrázek 81 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 304.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 aku 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

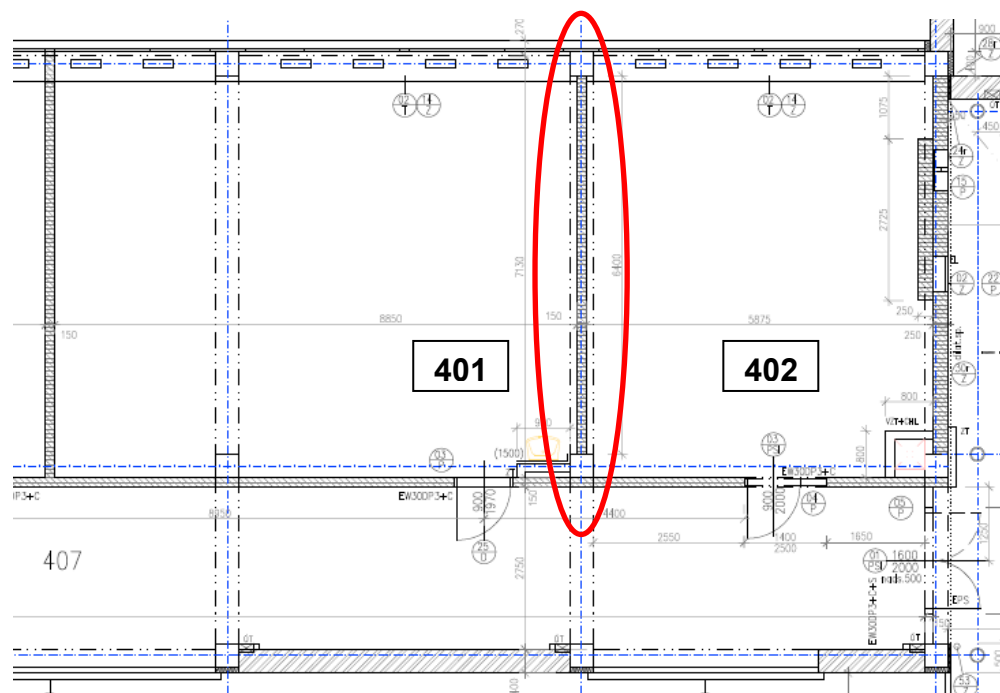
$R'_w = 40$  dB



**Obrázek 82 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 305-304.**

## 8.1.9 Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 401-402

## Půdorys měřicí situace



Obrázek 83 - Fragment půdorysu pavilonu „I“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

## Charakteristika místností

vysilací místnost 401		18,3 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 402	
typ	učebna	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	učebna
objem	125,2 m <sup>3</sup>		objem	194,4 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	PVC
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skříňky		vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skříňky

## Vybavenost místností



Obrázek 84 - Pohled na dělicí stěnu ve vysilací místnosti 401.



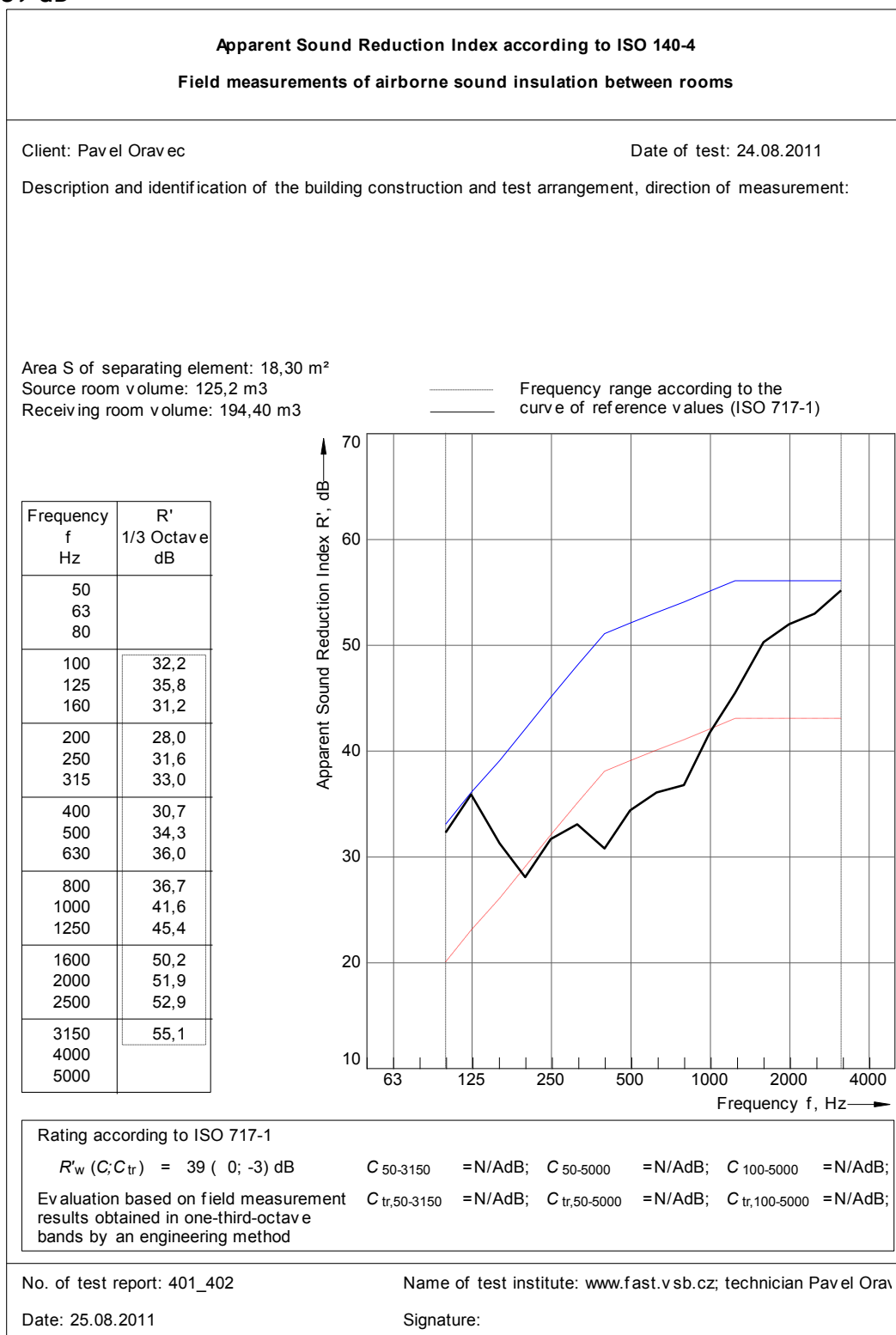
Obrázek 85 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 402.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 aku 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

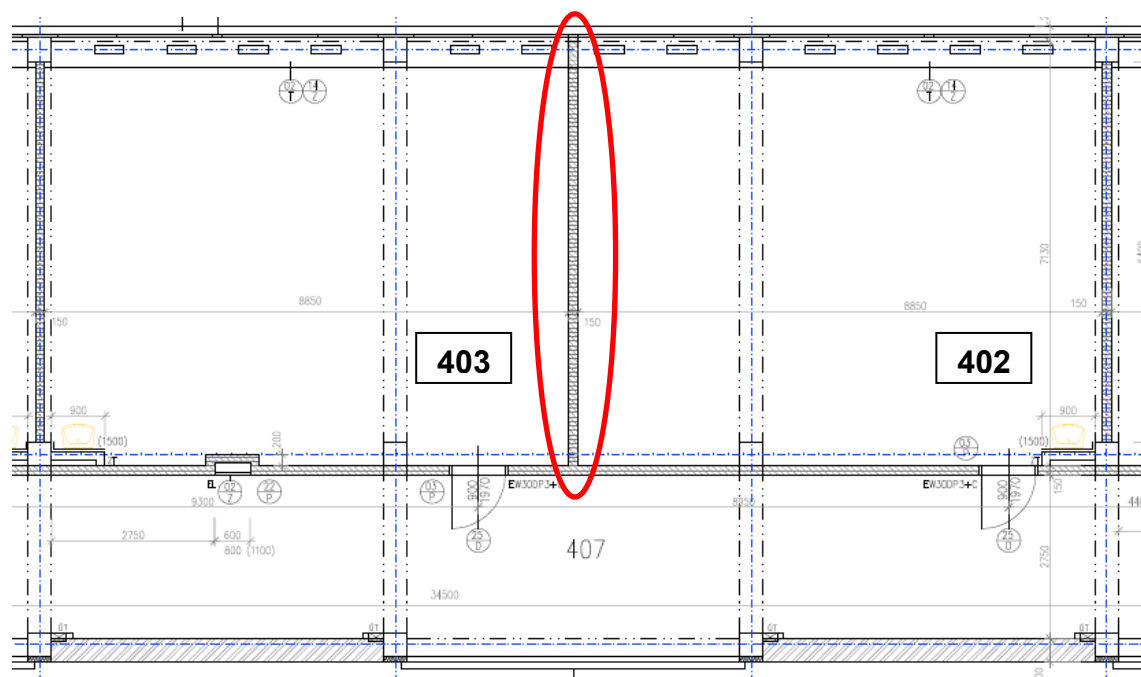
$R'_w = 39$  dB



**Obrázek 86 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 401-402.**

## 8.1.10 Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 402-403

## Půdorys měřící situace



Obrázek 87 - Fragment půdorysu pavilonu „I“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

## Charakteristika místností

vysílací místnost 402		23,3 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 403	
typ	učebna	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	učebna
objem	188,8 m <sup>3</sup>		objem	194,4 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	PVC
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky

## Vybavenost místností



Obrázek 88 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 402.



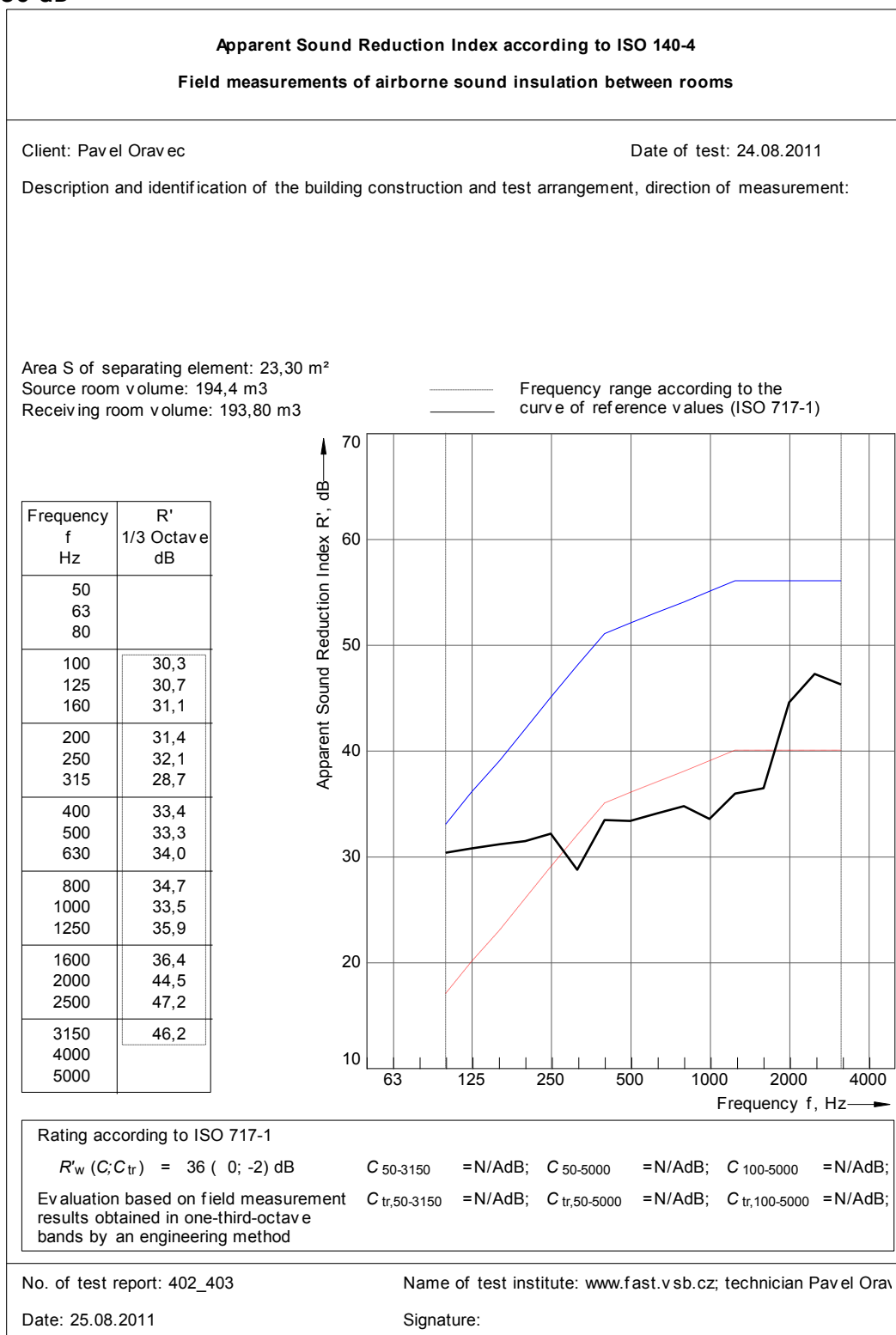
Obrázek 89 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 403.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 aku 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

$R'_{w} = 36 \text{ dB}$

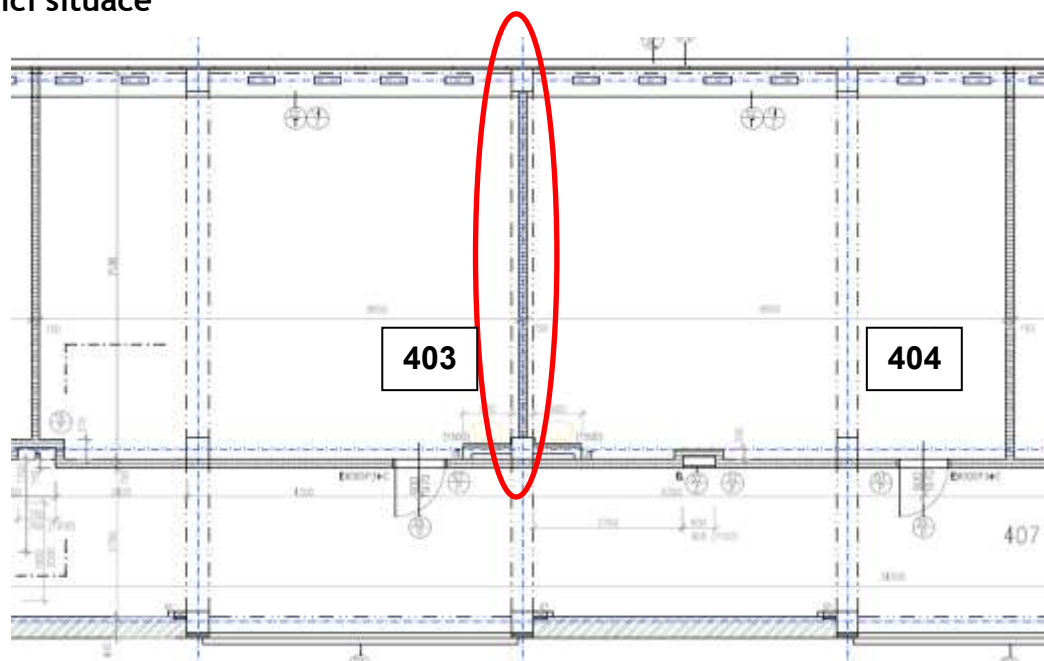


**Obrázek 90 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 402-403.**



## 8.1.11 Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 403-404

## Půdorys měřící situace



Obrázek 91 - Fragment půdorysu pavilonu „I“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

## Charakteristika místností

vysílací místnost 403		18,3 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 404	
typ	učebna	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	učebna
objem	193,8 m <sup>3</sup>		objem	194,1 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	PVC
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky

## Vybavenost místností



Obrázek 92 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 403.



Obrázek 93 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 404.

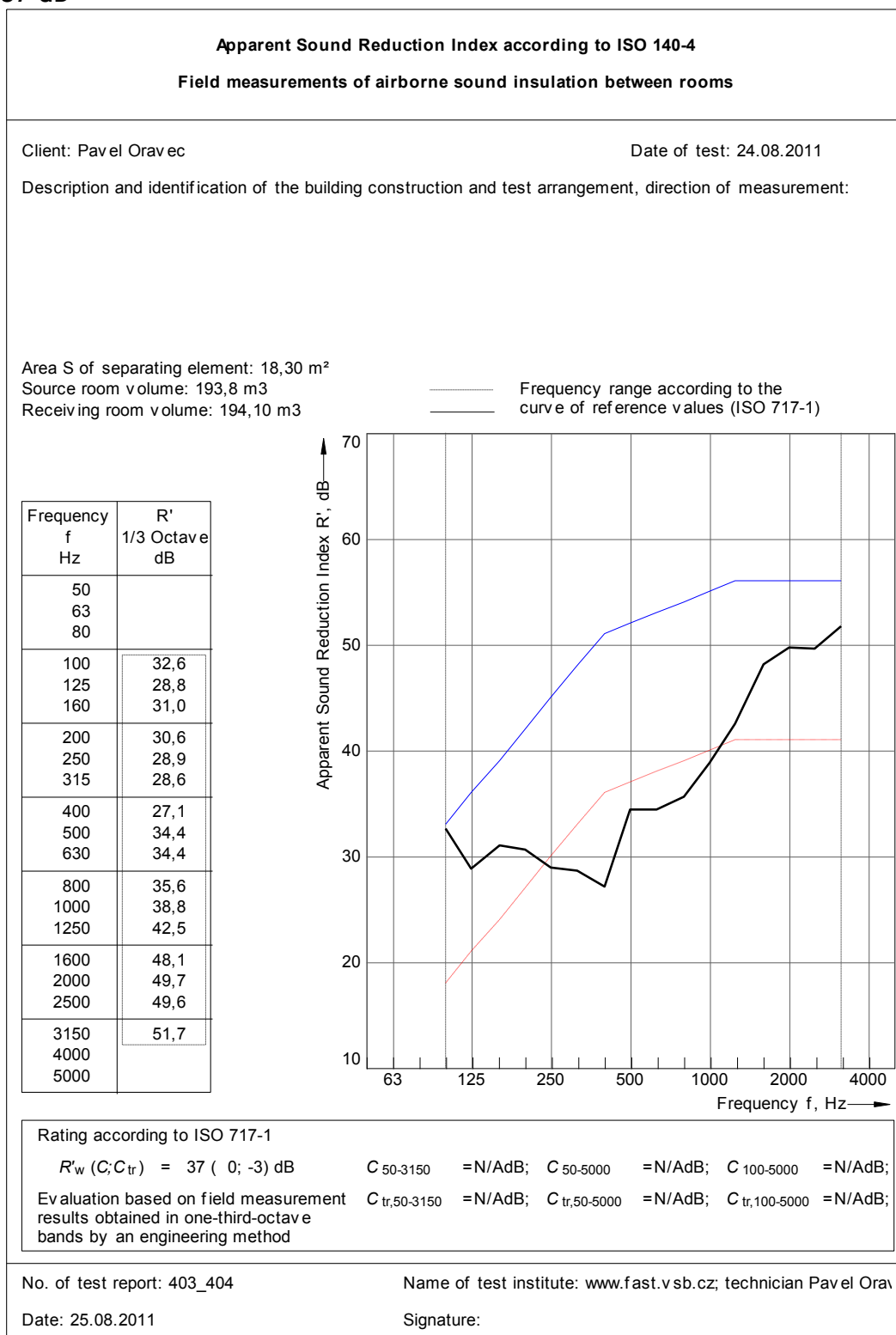


**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 aku 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

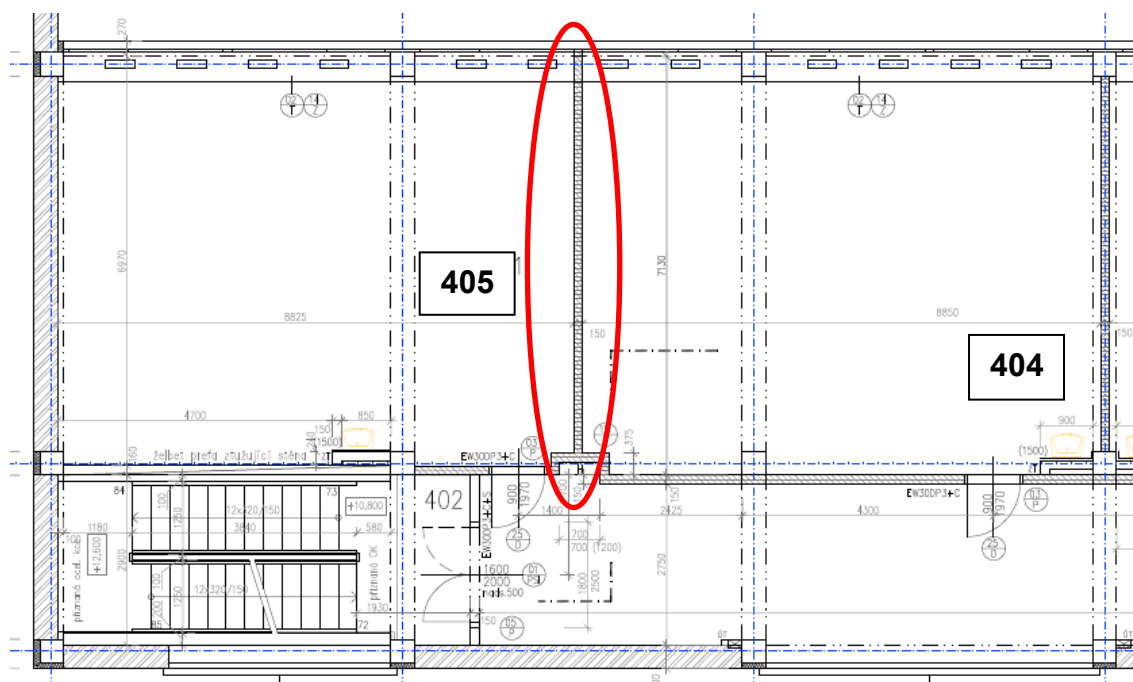
$R'_w = 37$  dB



Obrázek 94 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 403-404.

## 8.1.12 Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 405-404

## Půdorys měřící situace



Obrázek 95 - Fragment půdorysu pavilonu „I“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

## Charakteristika místností

vysílací místnost 405		22,1 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 404	
typ	učebna	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	učebna
objem	188,8 m <sup>3</sup>		objem	194,1 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	PVC
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skříňky		vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skříňky

## Vybavenost místností



Obrázek 96 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 405.



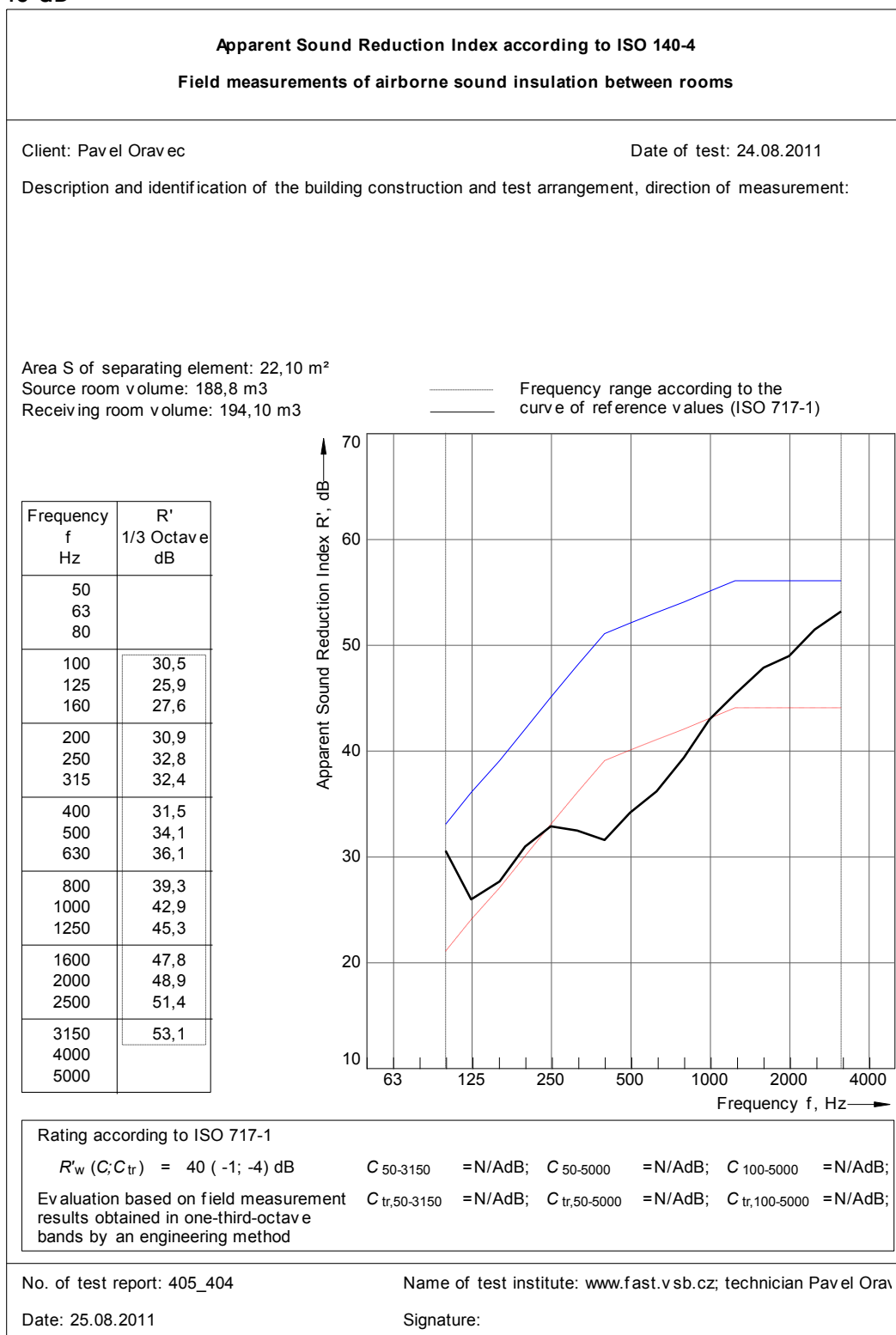
Obrázek 97 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 404.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 aku 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

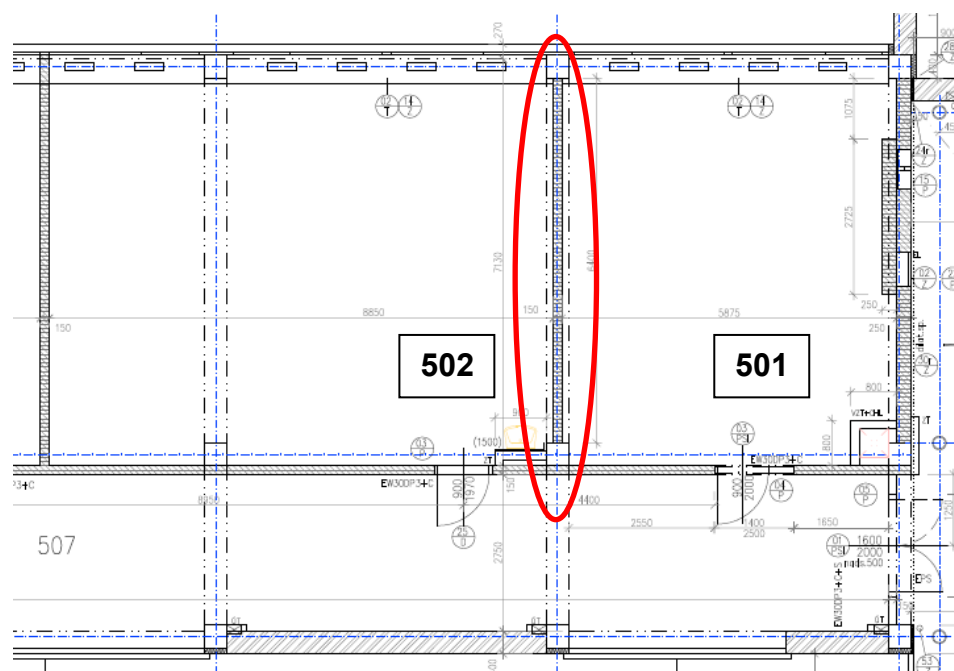
$R'w = 40$  dB



Obrázek 98 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 405-404.

## 8.1.13 Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 501-502

## Půdorys měřicí situace



Obrázek 99 - Fragment půdorysu pavilonu „I“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

## Charakteristika místností

vysílací místnost 501		18,3 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 502	
typ	učebna	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	učebna
objem	125,2 m <sup>3</sup>		objem	194,4 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	PVC
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skřínky

## Vybavenost místností



Obrázek 100 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 501.



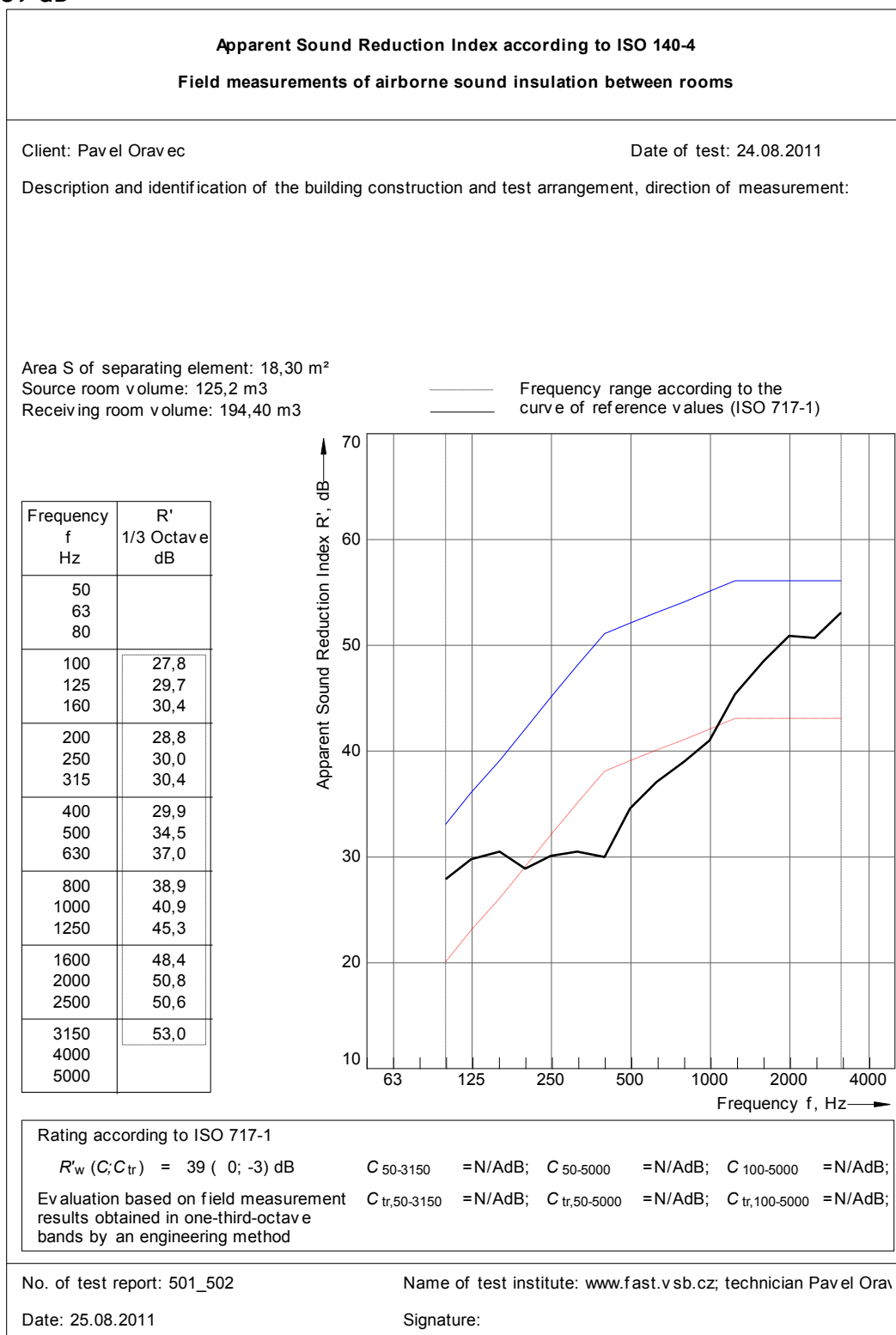
Obrázek 101 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 502.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 aku 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

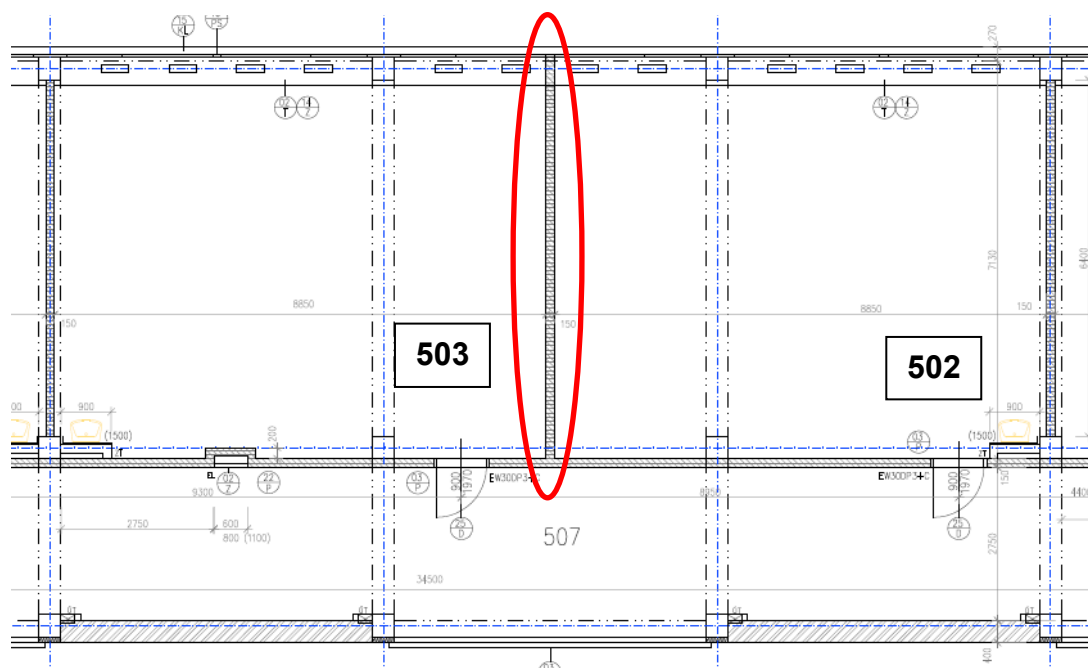
$R'_w = 39$  dB



Obrázek 102 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 501-502.

## 8.1.14 Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 503-502

## Půdorys měřící situace



Obrázek 103 - Fragment půdorysu pavilonu „I“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

## Charakteristika místností

vysílací místnost 503		23,3 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 502	
typ	učebna	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	učebna
objem	193,8 m <sup>3</sup>		objem	194,4 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	PVC
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skříňky		vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skříňky

## Vybavenost místností



Obrázek 104 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 503.



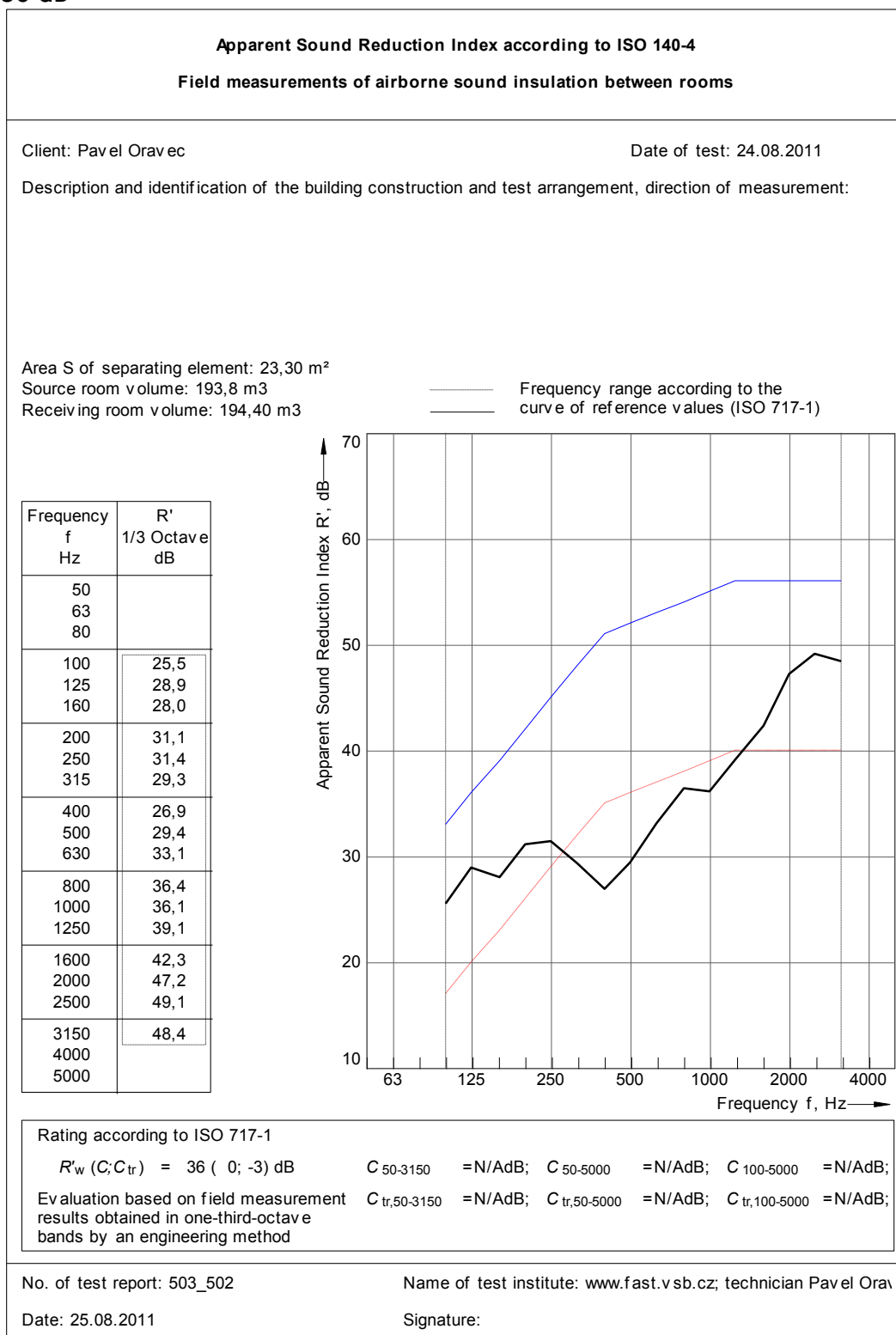
Obrázek 105 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 502.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 aku 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

$R'w = 36$  dB

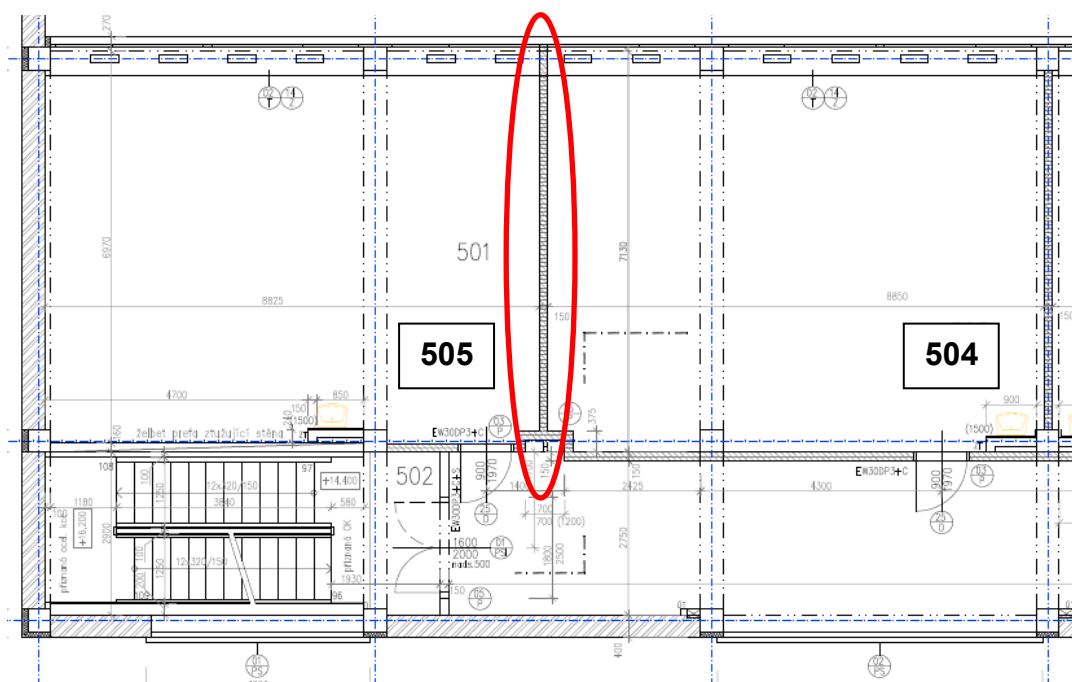


Obrázek 106 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 503-502.



## 8.1.15 Dělicí konstrukce mezi místnostmi Ipi 505-504

## Půdorys měřící situace



Obrázek 107 - Fragment půdorysu pavilonu „I“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

## Charakteristika místností

vysílací místnost 505		22,1 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 504	
typ	učebna	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	učebna
objem	188,8 m <sup>3</sup>		objem	194,1 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	PVC
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skříňky		vybavení	vybaveno nábytkem: lavice, skříňky

## Vybavenost místností



Obrázek 108 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 505.



Obrázek 109 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 504.

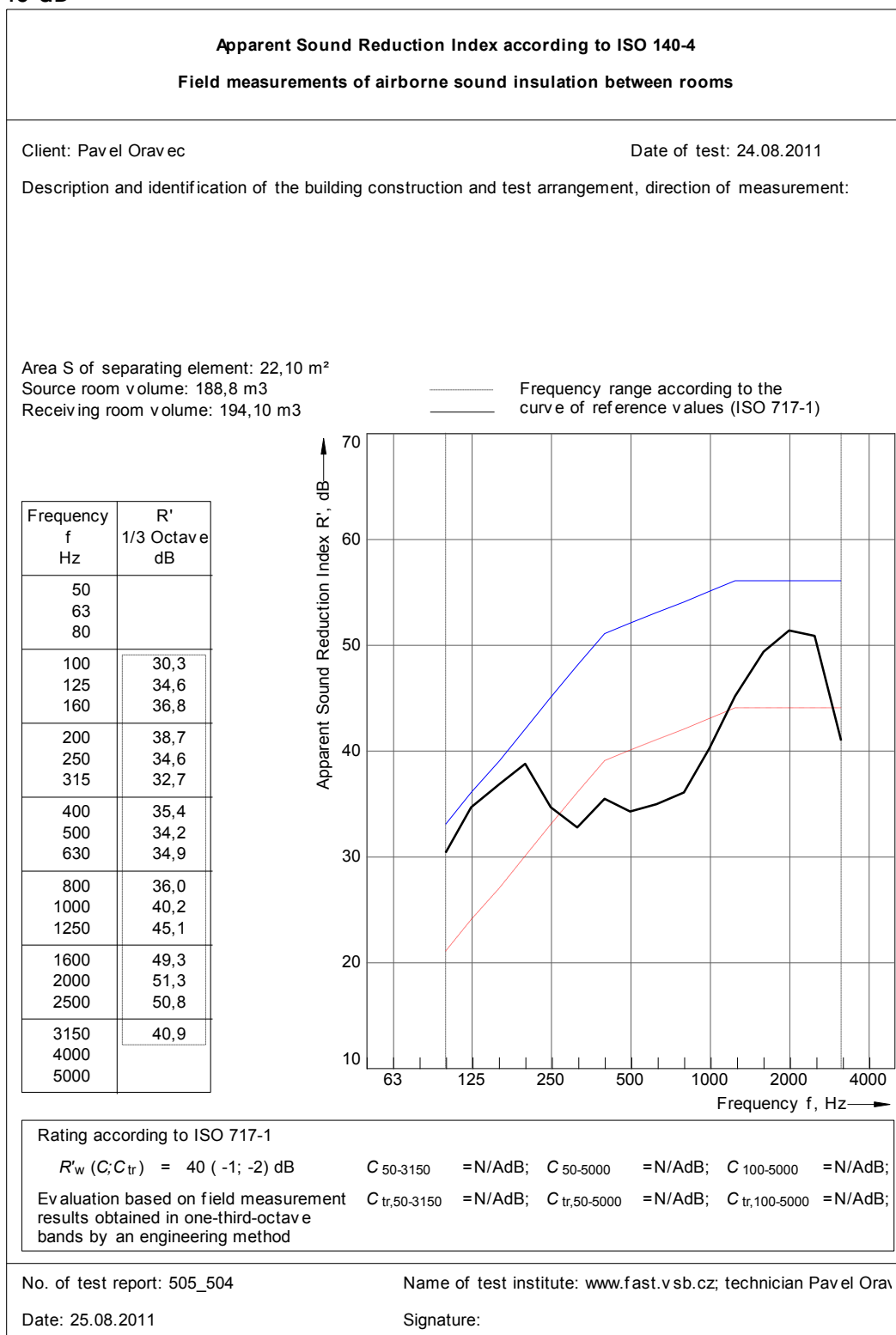


**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 aku 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

$R'_w = 40$  dB

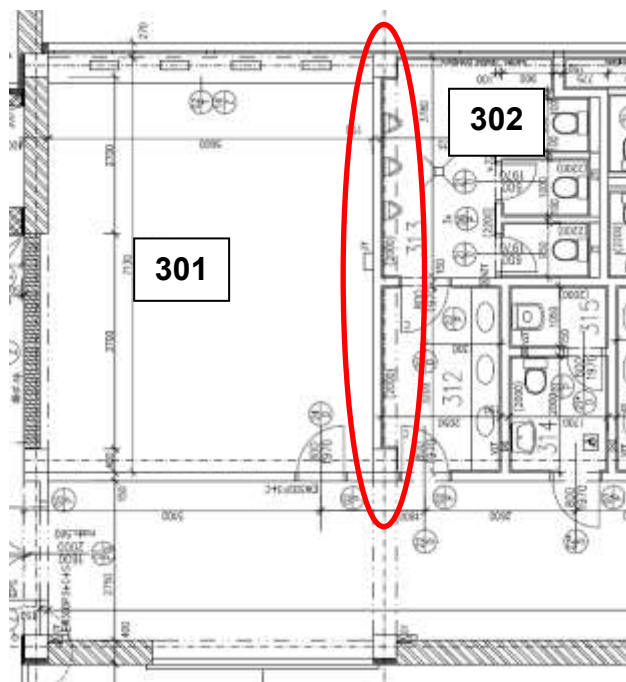


Obrázek 110 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 505-504.

## 8.2 Výsledky měření vzduchové neprůzvučnosti mezi kanceláři

### 8.2.1 Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 302-301

Půdorys měřicí situace



Obrázek 111 - Fragment půdorysu pavilonu „H“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

### Charakteristika místností

vysílací místnost 302		21 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 301	
typ	toalety	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	kancelář
objem	50 m <sup>3</sup>		objem	120 m <sup>3</sup>
stěny	keramický obklad , omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	PVC
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	nevybaveno		vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky

### Vybavenost místností



Obrázek 112 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 302.



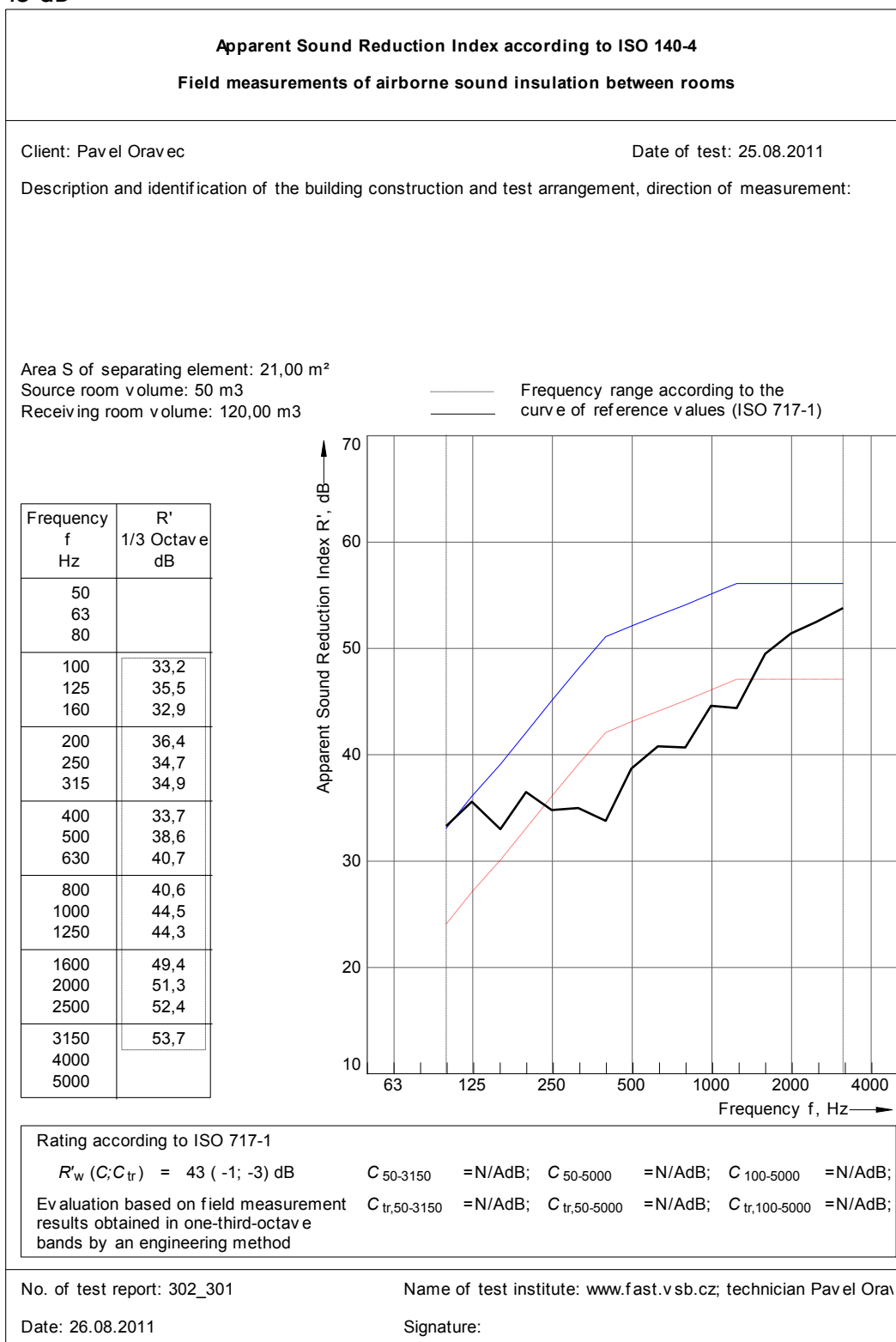
Obrázek 113 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 301.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 p+d 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

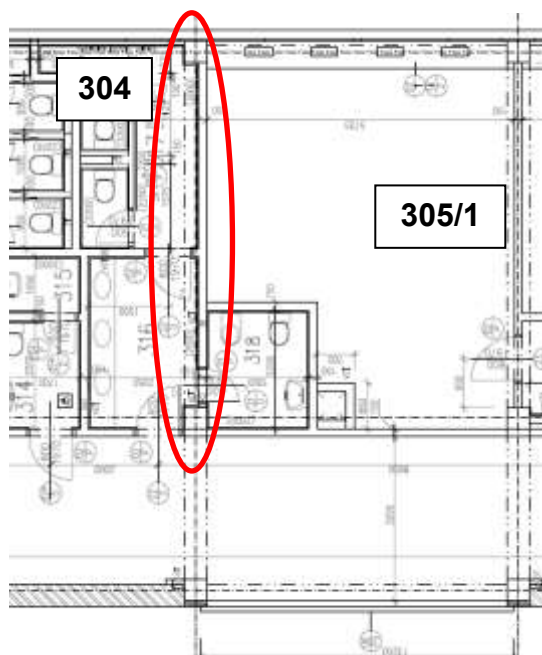
$R'_w = 43$  dB



Obrázek 114 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 302-301.

### 8.2.2 Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 304-305/1

#### Půdorys měřicí situace



Obrázek 115 - Fragment půdorysu pavilonu „H“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

#### Charakteristika místností

vysílací místnost 304		13,9 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 305/1	
typ	toalety	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	kancelář
objem	43 m <sup>3</sup>		objem	104,4 m <sup>3</sup>
stěny	keramický obklad , omítka		stěny	omítka
podlaha	PVC		podlaha	koberec
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	nevybaveno		vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky

#### Vybavenost místností



Obrázek 116 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 304.



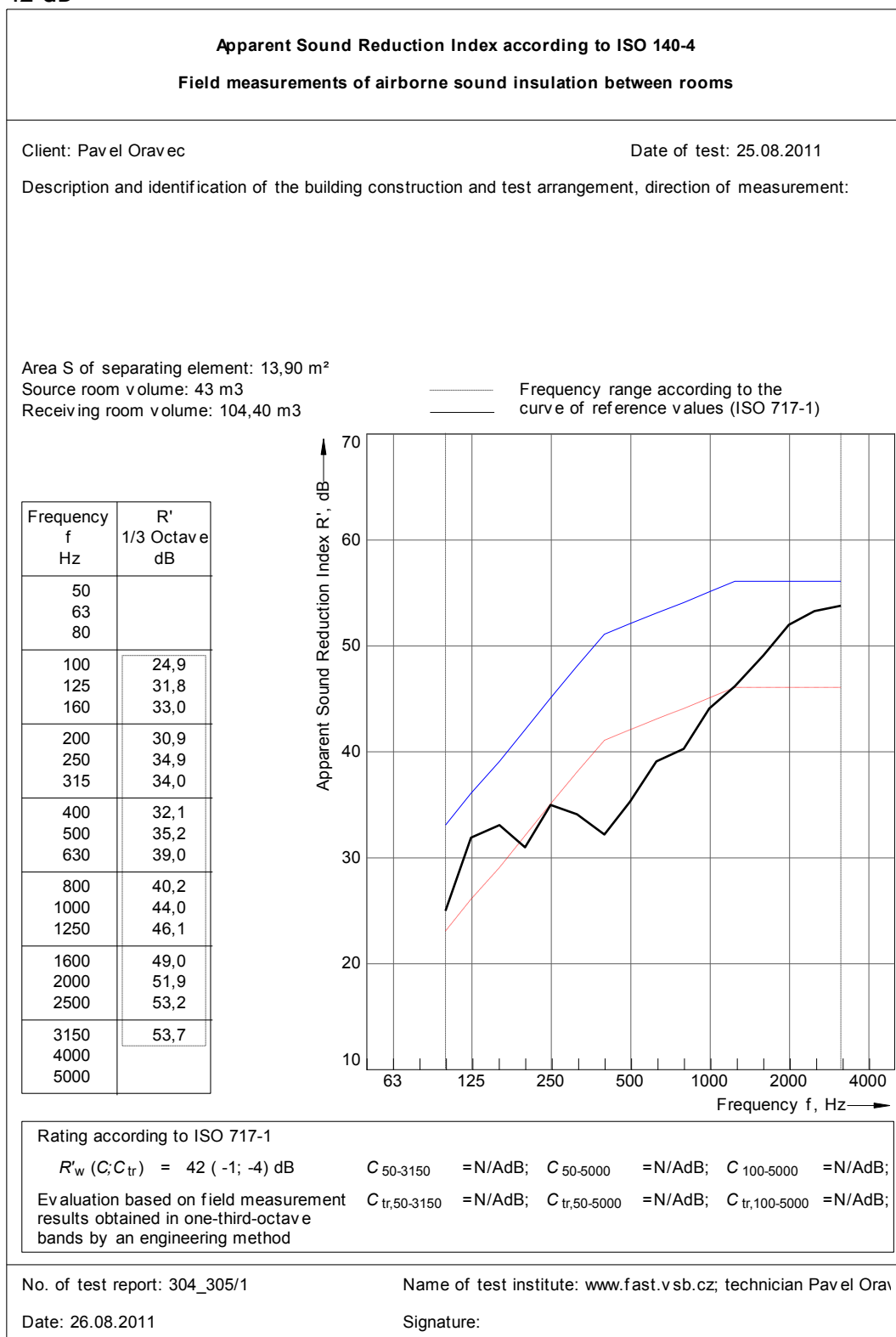
Obrázek 117 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 305/1.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 p+d 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

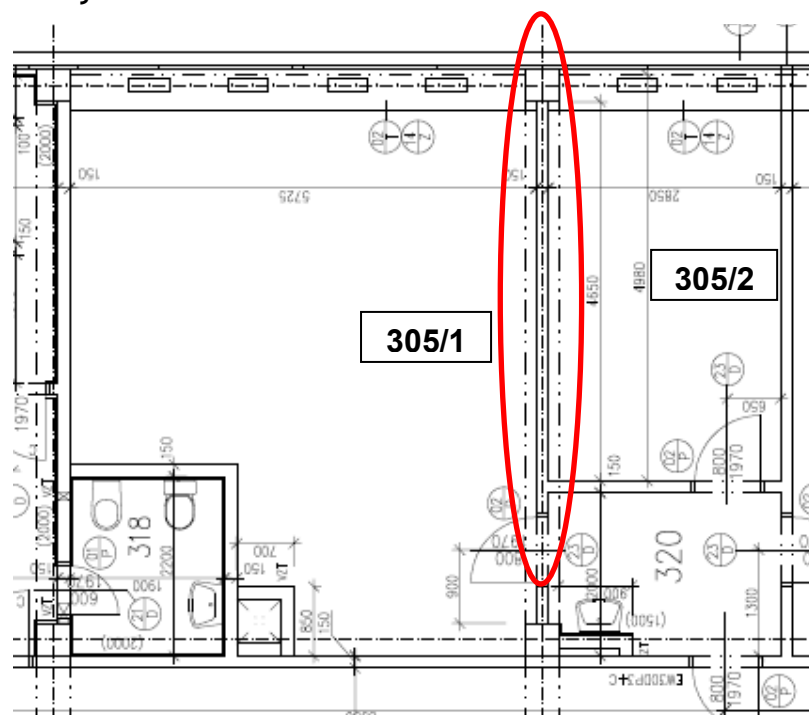
$R'_w = 42 \text{ dB}$



Obrázek 118 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 304-305/1.

### 8.2.3 Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 305/2-305/1

#### Půdorys měřící situace



Obrázek 119 - Fragment půdorysu pavilonu „H“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

#### Charakteristika místností

vysílací místnost 305/2		13,5 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 305/1	
typ	kancelář	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	kancelář
objem	49,2 m <sup>3</sup>		objem	104,4 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	koberec		podlaha	koberec
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky

#### Vybavenost místností



Obrázek 120 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 305/2.



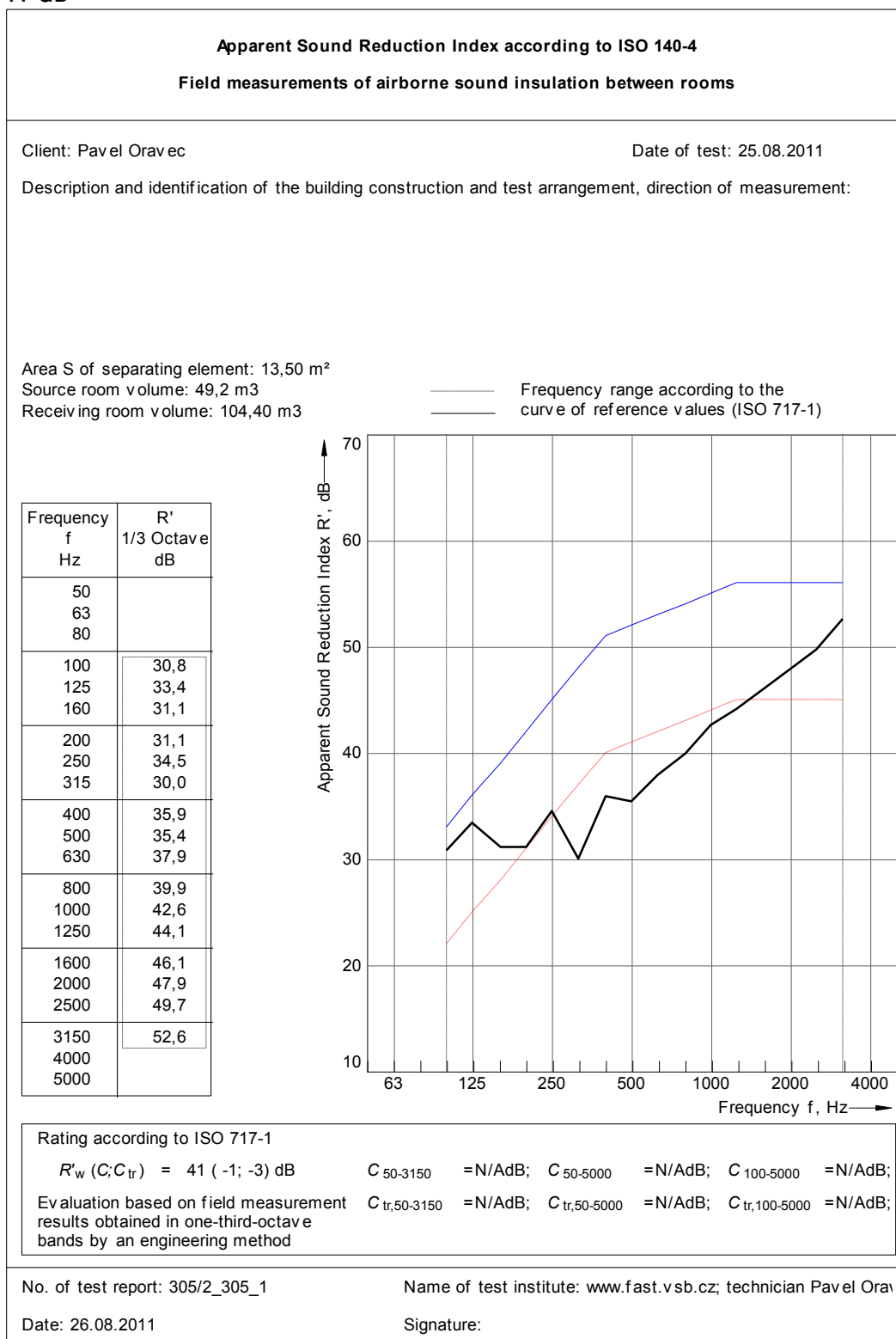
Obrázek 121 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 305/1.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 p+d 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

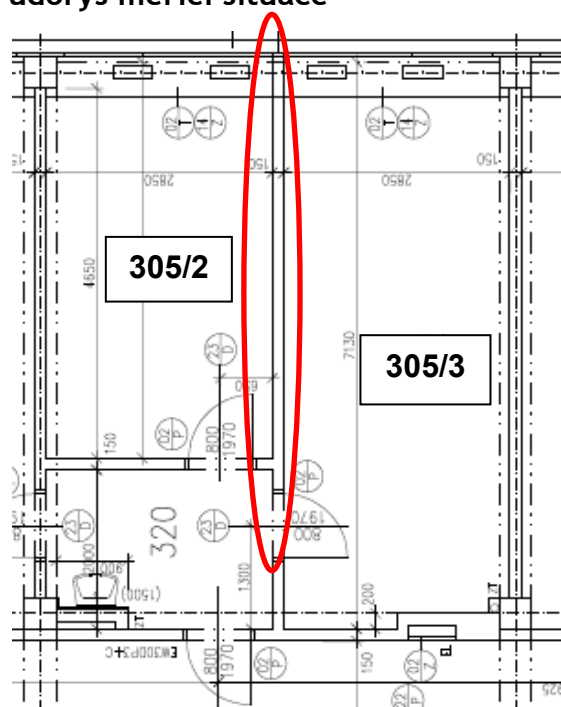
$R'_w = 41$  dB



Obrázek 122 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 304-305/1.

### 8.2.4 Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 305/2-305/3

#### Půdorys měřicí situace



Obrázek 123 - Fragment půdorysu pavilonu „H“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

#### Charakteristika místností

vysílací místnost 305/2		14,4 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 305/3	
typ	kancelář	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	kancelář
objem	49,2 m <sup>3</sup>		objem	58 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	koberec		podlaha	koberec
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky

#### Vybavenost místností



Obrázek 124 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 305/2.



Obrázek 125 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 305/3.

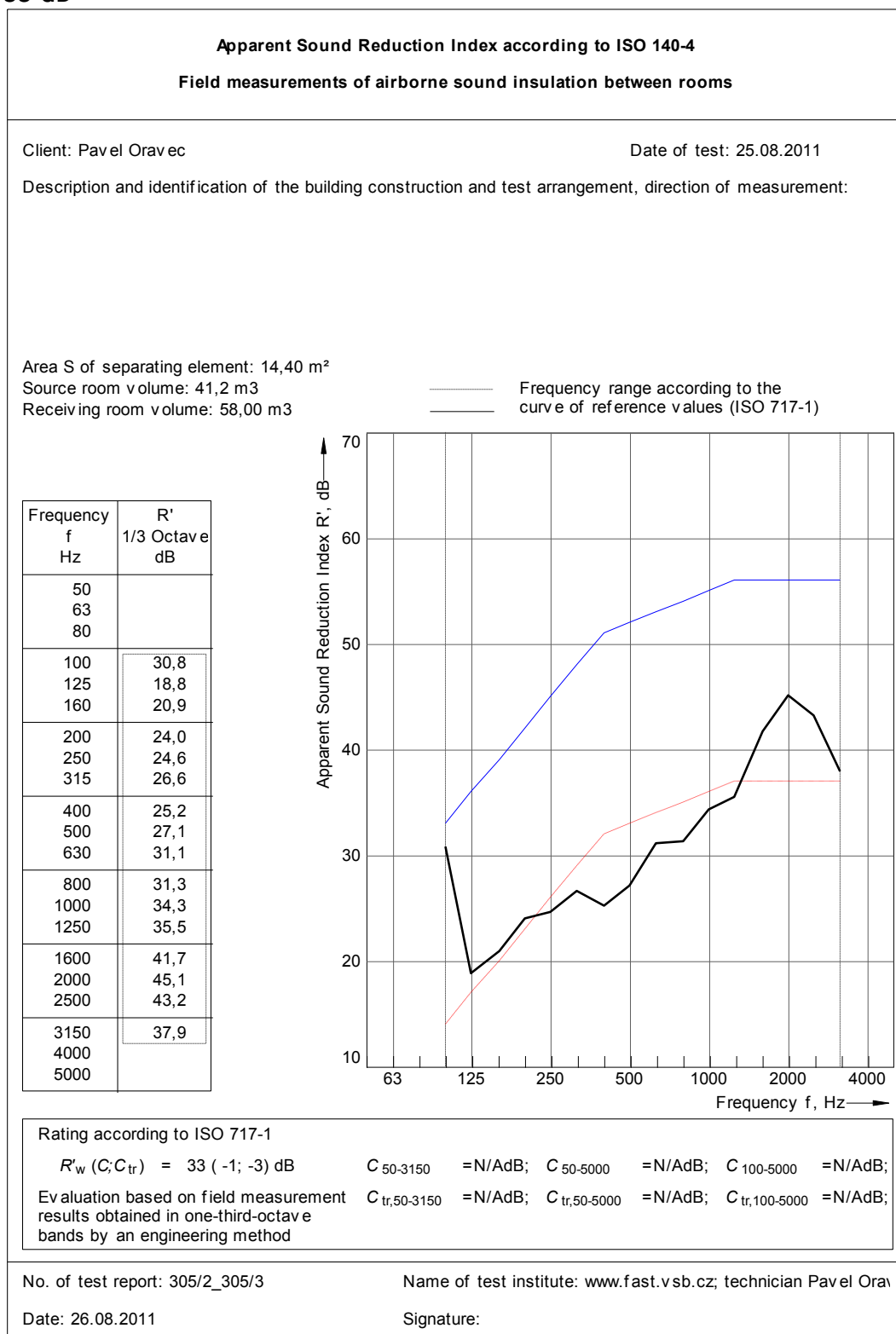


**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 p+d 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

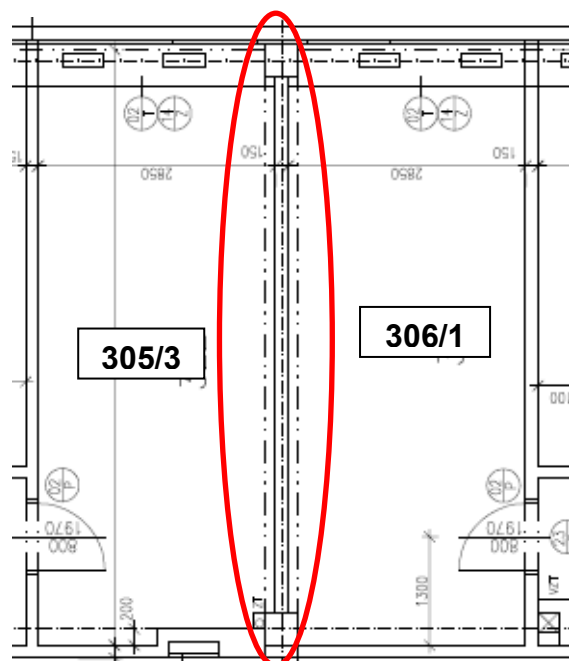
$R'_w = 33$  dB



Obrázek 126 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 304-305/1.

### 8.2.5 Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 306/1-305/3

#### Půdorys měřicí situace



Obrázek 127 - Fragment půdorysu pavilonu „H“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

#### Charakteristika místností

vysílací místnost 306/1		19,7 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 305/3	
typ	kancelář	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	kancelář
objem	59 m <sup>3</sup>		objem	59 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	koberec		podlaha	koberec
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky

#### Vybavenost místností



Obrázek 128 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 306/1.



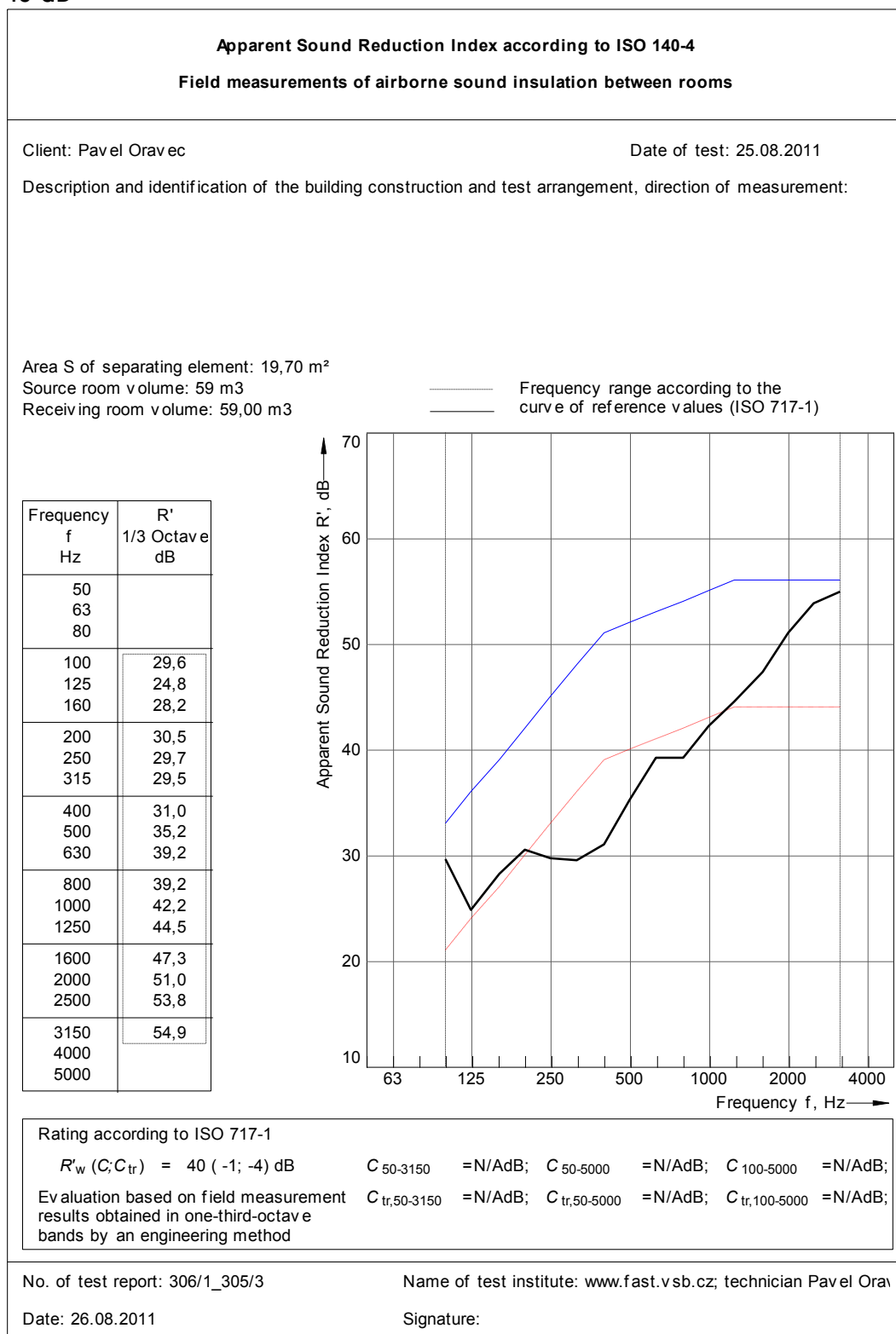
Obrázek 129 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 305/3.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 p+d 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

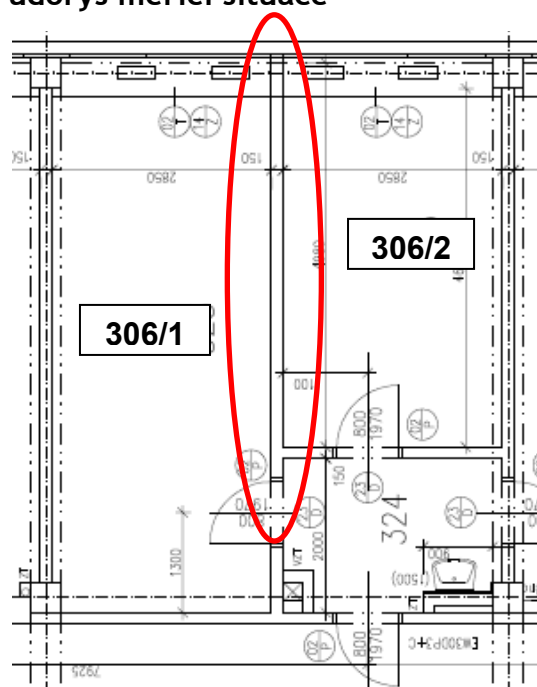
$R'_w = 40$  dB



Obrázek 130 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 306/1-305/3.

## 8.2.6 Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 306/2-306/1

### Půdorys měřicí situace



Obrázek 131 - Fragment půdorysu pavilonu „H“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

### Charakteristika místností

vysílací místnost 306/2		14,4 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 306/1	
typ	kancelář	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	kancelář
objem	38,4 m <sup>3</sup>		objem	59 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	koberec		podlaha	koberec
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky

### Vybavenost místností



Obrázek 132 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 306/2.



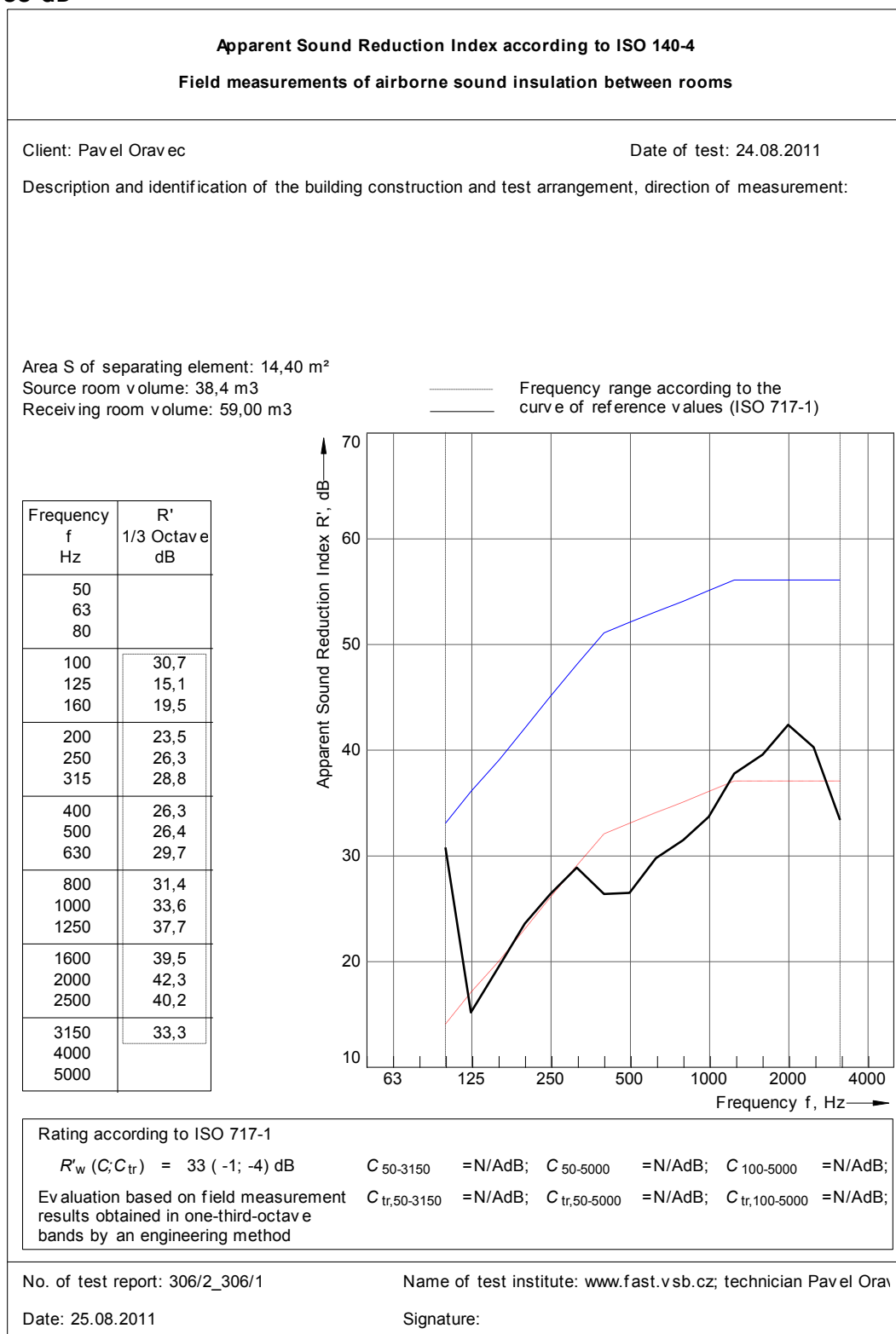
Obrázek 133 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 306/1.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 p+d 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

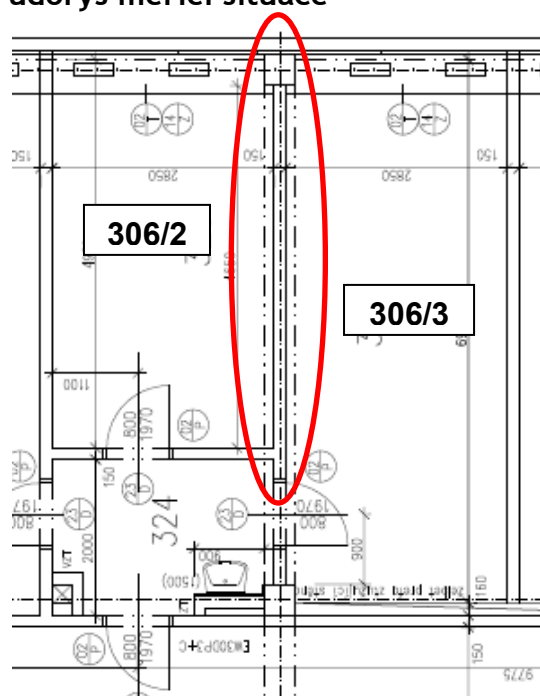
$R'_w = 33 \text{ dB}$



Obrázek 134 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 306/2-306/1.

### 8.2.7 Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 306/2-306/3

#### Půdorys měřící situace

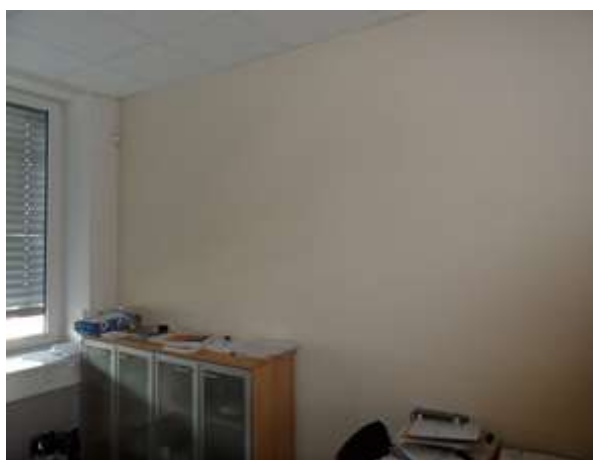


Obrázek 135 - Fragment půdorysu pavilonu „H“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

#### Charakteristika místností

vysílací místnost 306/2		13,5 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 306/3	
typ	kancelář	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	kancelář
objem	38,4 m <sup>3</sup>		objem	57,6 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	koberec		podlaha	koberec
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky

#### Vybavenost místností



Obrázek 136 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 306/2.



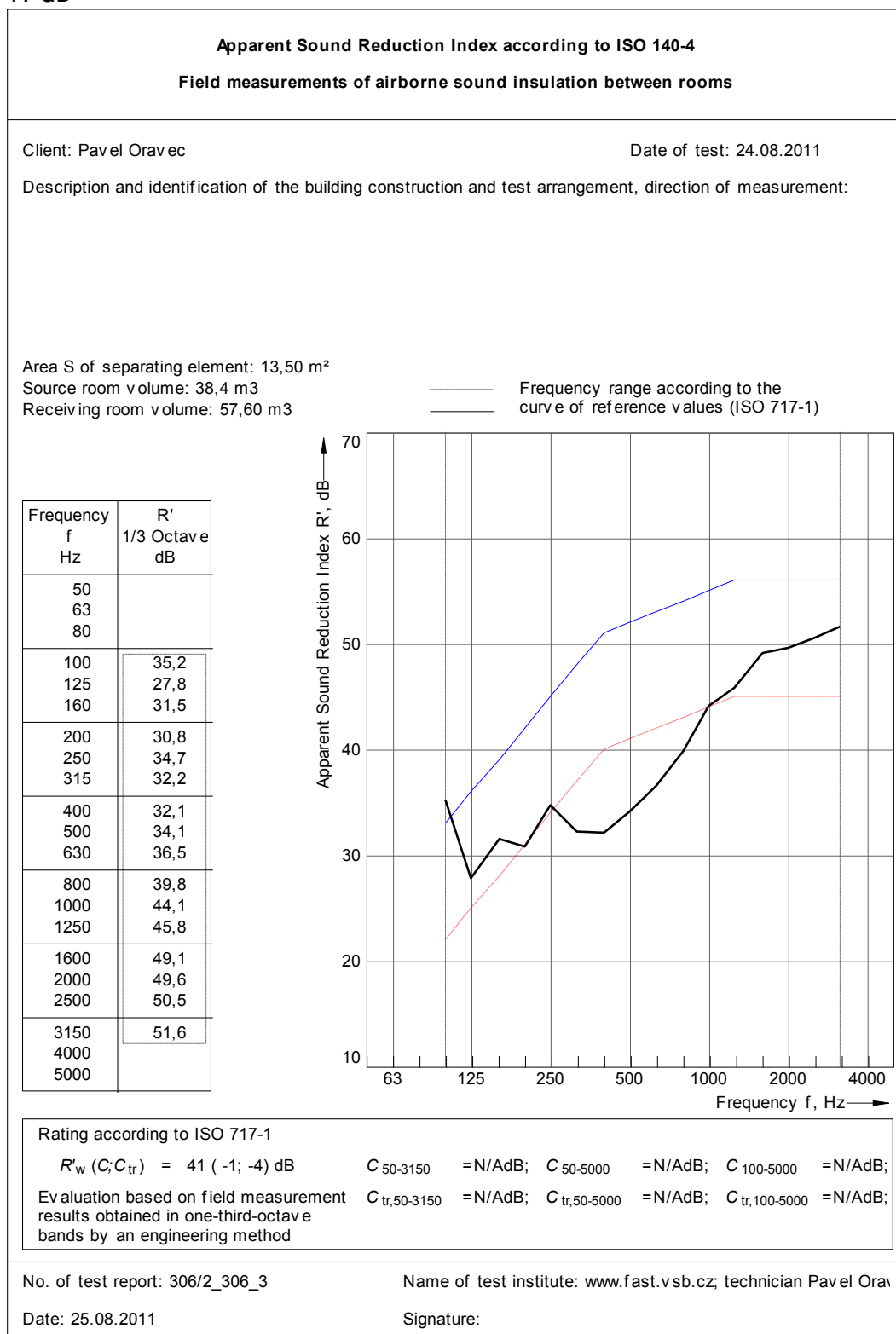
Obrázek 137 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 306/3.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 p+d 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

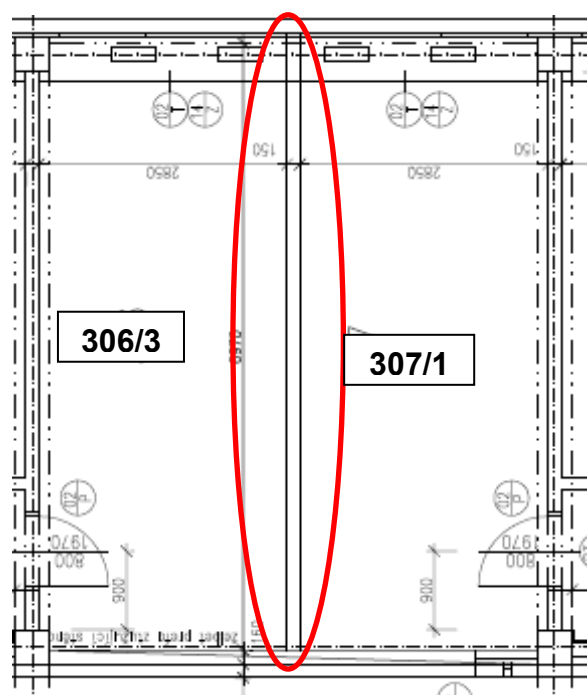
$R'_w = 41$  dB



Obrázek 138 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 306/2-306/1.

### 8.2.8 Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 307/1-306/3

#### Půdorys měřicí situace



Obrázek 139 - Fragment půdorysu pavilonu „H“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

#### Charakteristika místností

vysílací místnost 307/1		20,2 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 306/3	
typ	kancelář	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	kancelář
objem	57,6 m <sup>3</sup>		objem	57,6 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	koberec		podlaha	koberec
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky

#### Vybavenost místností



Obrázek 140 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 307/1.



Obrázek 141 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 306/3.

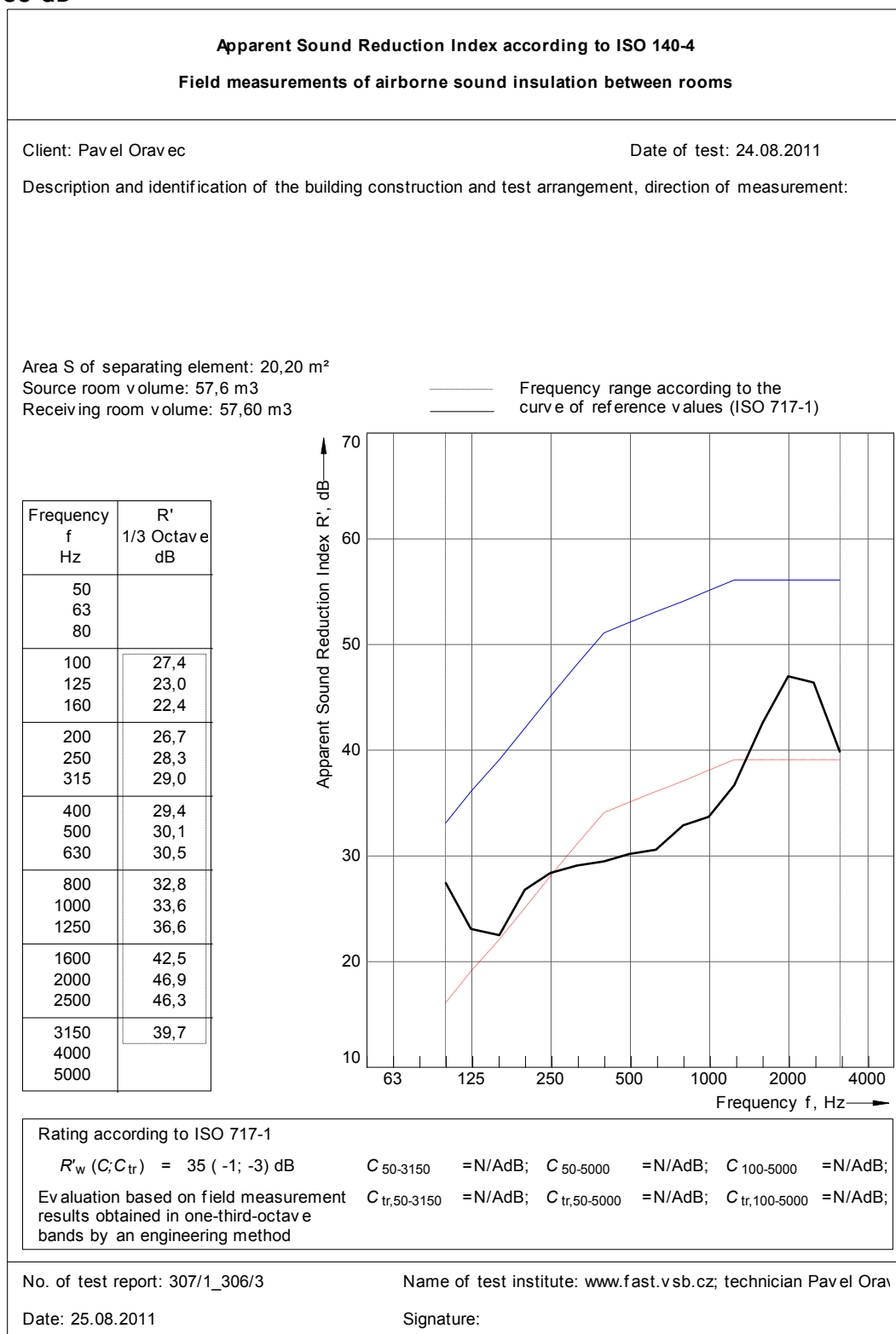


**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 p+d 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

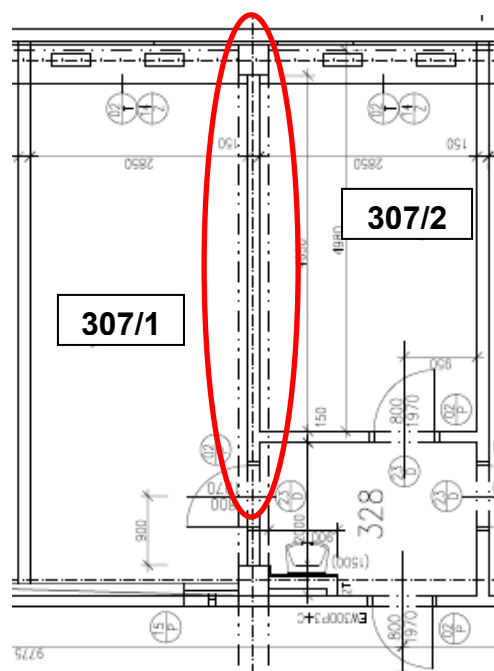
$R'_w = 35$  dB



Obrázek 142 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 307/1-306/3.

### 8.2.9 Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 307/2-307/1

#### Půdorys měřicí situace



Obrázek 143 - Fragment půdorysu pavilonu „H“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

#### Charakteristika místností

vysílací místnost 307/2		13,5 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 307/1	
typ	kancelář	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	kancelář
objem	49,2 m <sup>3</sup>		objem	57,6 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	koberec		podlaha	koberec
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky

#### Vybavenost místností



Obrázek 144 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 307/2.



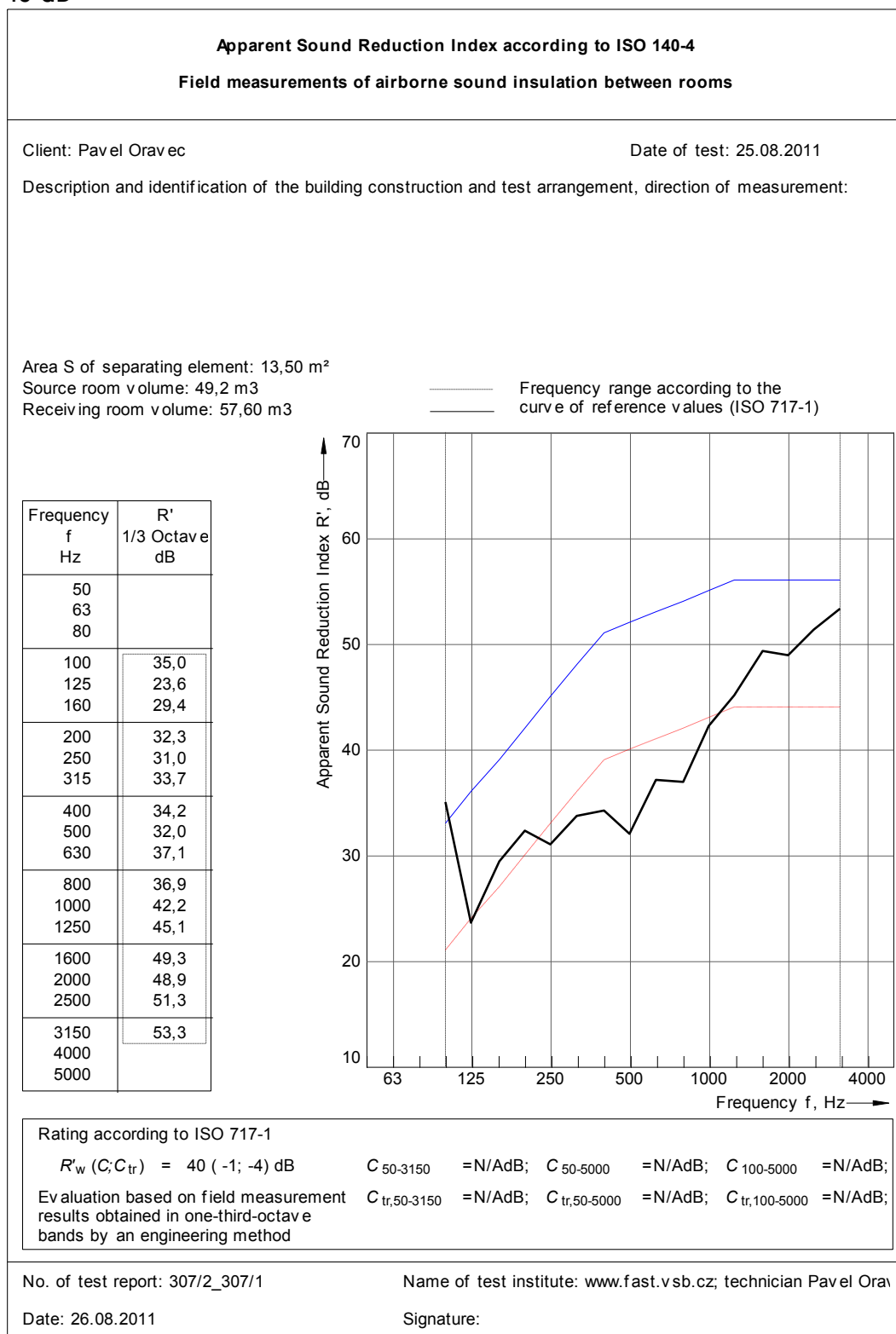
Obrázek 145 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 307/1.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 p+d 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

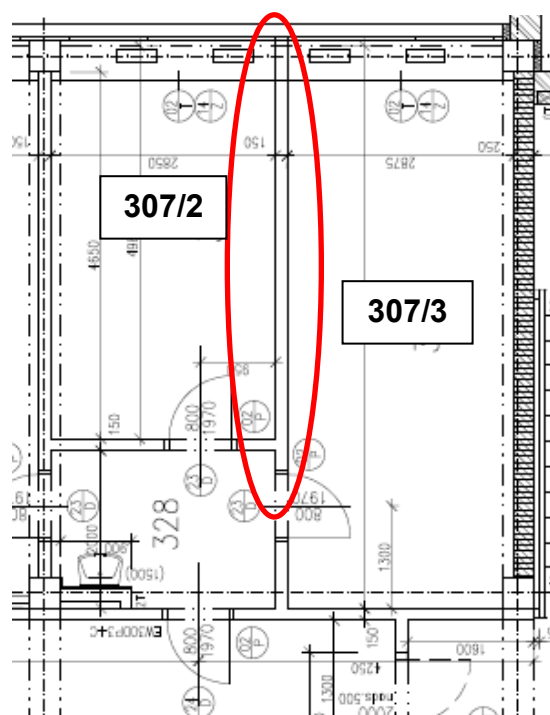
$R'_w = 40$  dB



Obrázek 146 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 307/2-307/1.

## 8.2.10 Dělicí konstrukce mezi místnostmi lph 307/2-307/3

## Půdorys měřící situace



Obrázek 147 - Fragment půdorysu pavilonu „H“ se zaznačením analyzované konstrukce. Zdroj [18].

## Charakteristika místností

vysílací místnost 307/2		14,4 m <sup>2</sup>	přijímací místnost 307/3	
typ	kancelář	plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi	typ	kancelář
objem	49,2 m <sup>3</sup>		objem	59,4 m <sup>3</sup>
stěny	omítka		stěny	omítka
podlaha	koberec		podlaha	koberec
okna	plastová s dvojsklem		okna	plastová s dvojsklem
dveře	dřevěné		dveře	dřevěné
vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky		vybavení	vybaveno nábytkem: stoly, skřínky

## Vybavenost místností



Obrázek 148 - Pohled na dělicí stěnu ve vysílací místnosti 307/2.



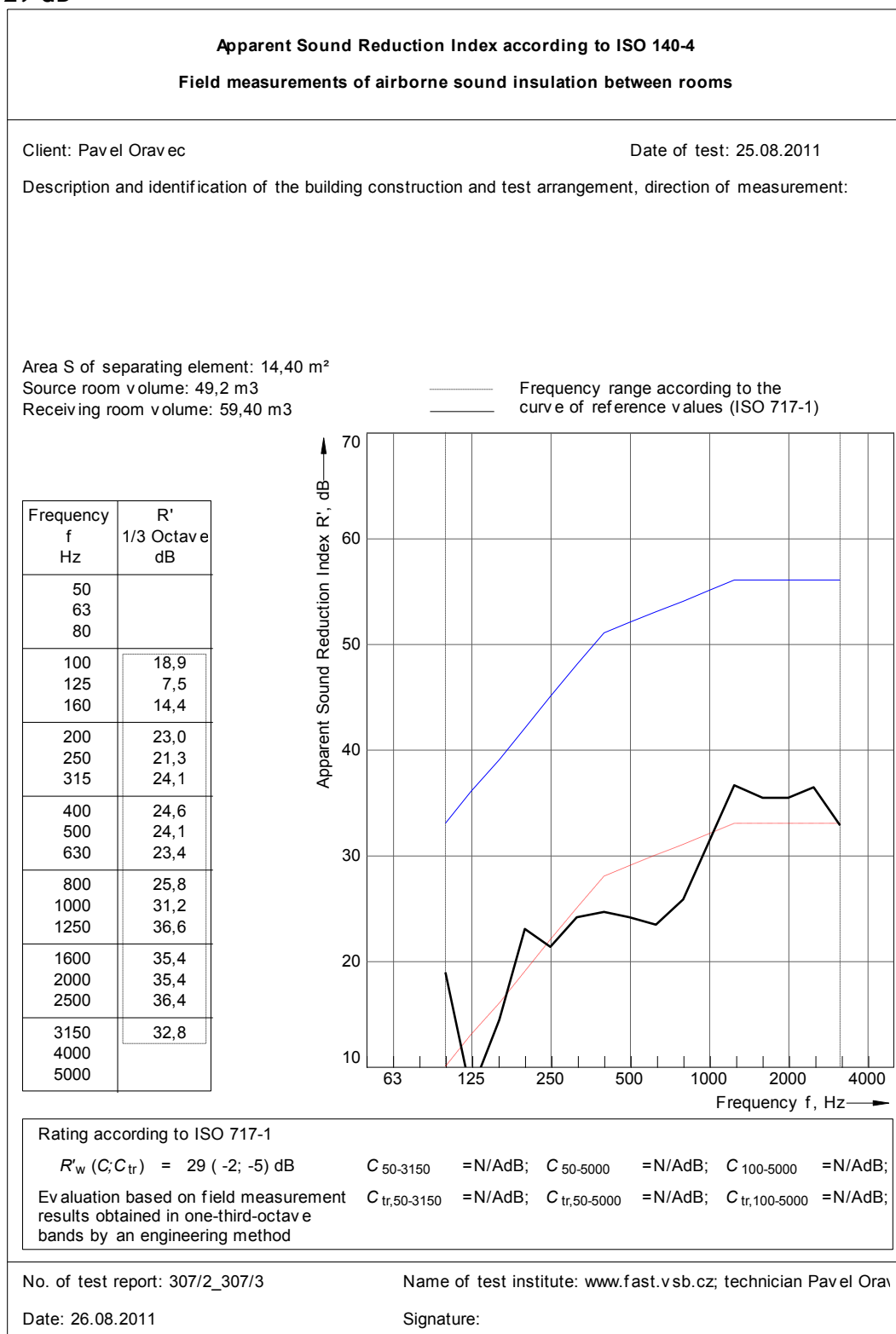
Obrázek 149 - Pohled na dělicí stěnu v přijímací místnosti 307/3.

**Skladba dělicí konstrukce**

Malba bílá 1 mm, omítka 15 mm, Porotherm 11,5 p+d 115 mm, omítka 15 mm, malba bílá 1 mm.

**Výsledek měření**

$R'_w = 29$  dB



Obrázek 150 - Protokol z měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi 307/2-307/3.

## 8.3 Pomocné výpočty

### 8.3.1 Fasáda - parapetní část

## TEORETICKÝ VÝPOČET VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

dle J. Čechura: Stavební fyzika 10, ČVUT 1997 a ČSN EN ISO 717-1 a ČSN EN ISO 717-2 (1998)

#### NEPrůzvučnost 2005

Název úlohy : parapetní panel  
Zpracovatel : Pavel Oravec  
Zakázka : Disertační práce  
Datum : 8. 8. 2011

#### KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:

##### Základní parametry úlohy:

Typ konstrukce : dvojité  
Typ výpočtu : vážená neprůzvučnost (index vzduch. neprůzvučnosti)  
Korekce k : 0,0 dB

##### Zadané vrstvy konstrukce (od chráněné místnosti):

číslo	Název	D [m]	Ro [kg/m <sup>3</sup> ]	c [m/s]	eta [-]	Ed [MPa] / alfa [-]
1	Beton hutný 1	0,1200	2300,0	3162	0,080	-----
2	Orsil M...	0,1200	70,0	-----	0,170	0,90
3	Beton hutný 1	0,0050	2000,0	3162	0,080	-----

#### TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ:

Kmitočet	Dílčí neprůzvučnosti			Neprůzv.	Ref. křivka	Rozdíl
f[Hz]	1.kce[dB]	2.kce[dB]	DR(sep.)[dB]	R[dB]	Rref[dB]	deltaR[dB]
100	35,7	12,5	1,2	37,4	42	4,6
125	35,7	14,5	4,0	40,4	45	4,6
160	35,7	16,5	6,8	43,3	48	4,7
200	35,7	18,5	9,6	46,4	51	4,6
250	38,6	20,5	10,8	50,4	54	3,6
315	41,9	22,5	10,8	53,6	57	3,4
400	45,2	24,5	10,8	56,8	60	3,2
500	47,4	26,5	10,8	58,9	61	2,1
630	49,4	28,5	10,8	60,9	62	1,1
800	51,4	30,5	10,8	62,9	63	0,1
1000	53,4	32,5	10,8	64,9	64	-----
1250	55,4	34,5	10,8	66,9	65	-----
1600	57,4	34,5	10,8	68,8	65	-----
2000	59,4	34,5	10,8	70,7	65	-----
2500	61,4	34,5	10,8	72,6	65	-----
3150	63,4	34,5	10,8	74,5	65	-----
Součet:						31,8

Vážená neprůzvučnost (laboratorní)  $R_w$  :

**61 dB**

Faktor přizpůsobení spektru C :

**-2 dB**

Faktor přizpůsobení spektru C, tr :

**-8 dB**

Zápis dle ČSN EN ISO 717-1:

$R_w (C; C_{tr}) = 61 (-2; -8) \text{ dB}$

**8.3.2 Podlaha****TEORETICKÝ VÝPOČET VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ**

dle J. Čechura: Stavební fyzika 10, ČVUT 1997 a ČSN EN ISO 717-1 a ČSN EN ISO 717-2 (1998)

**NEPrůzvučnost 2005**

Název úlohy : podlaha  
 Zpracovatel : Pavel Oravec  
 Zakázka : Disertační práce  
 Datum : 8. 8. 2011

**KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:**Základní parametry úlohy:

Typ konstrukce : dvojitá  
 Typ výpočtu : vážená neprůzvučnost (index vzduch. neprůzvučnosti)  
 Korekce k : 0,0 dB

Zadané vrstvy konstrukce (od chráněné místnosti):

číslo	Název	D [m]	Ro [kg/m <sup>3</sup> ]	c [m/s]	eta [-]	Ed [MPa] / alfa [-]
1	Železobeton 1	0,0650	2300,0	3162	0,080	-----
2	Orsil T	0,0250	189,0	-----	0,190	0,30
3	Beton hutný 1	0,2000	2300,0	3162	0,080	-----

**TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ:**

Kmitočet	Dílčí neprůzvučnosti			Neprůzv.	Ref. křivka	Rozdíl
f[Hz]	1.kce[dB]	2.kce[dB]	DR(sep.)[dB]	R[dB]	Rref[dB]	deltaR[dB]
100	35,7	35,7	-1,5	40,2	39	-----
125	35,7	36,0	-0,5	41,4	42	0,6
160	35,7	39,3	0,0	43,7	45	1,3
200	35,7	42,7	0,0	45,9	48	2,1
250	35,7	45,8	0,0	48,2	51	2,8
315	35,7	47,8	0,0	49,7	54	4,3
400	36,4	49,8	0,0	51,5	57	5,5
500	39,7	51,8	0,0	53,7	58	4,3
630	43,0	53,8	0,0	56,0	59	3,0
800	46,1	55,8	0,0	58,3	60	1,7
1000	48,1	57,8	0,0	60,3	61	0,7
1250	50,1	59,8	0,0	62,3	62	-----
1600	52,1	61,8	0,0	64,3	62	-----
2000	54,1	63,8	0,0	66,3	62	-----
2500	56,1	65,8	0,0	68,3	62	-----
3150	58,1	67,8	0,0	70,3	62	-----
<b>Součet:</b>						<b>26,4</b>

Vážená neprůzvučnost (laboratorní) **Rw :** **58 dB**  
 Faktor přizpůsobení spektru C : **-1 dB**  
 Faktor přizpůsobení spektru C, tr : **-5 dB**

Zápis dle ČSN EN ISO 717-1:

**Rw (C; Ctr) = 58 (-1; -5) dB**

**8.3.3 Strop****TEORETICKÝ VÝPOČET VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ**

dle J. Čechura: Stavební fyzika 10, ČVUT 1997 a ČSN EN ISO 717-1 a ČSN EN ISO 717-2 (1998)

**NEPrůzvučnost 2005**

Název úlohy : strop žb  
 Zpracovatel : Pavel Oravec  
 Zakázka : Disertační práce  
 Datum : 8. 8. 2011

**KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:**Základní parametry úlohy:

Typ konstrukce : jednoduchá jednovrstvá  
 Typ výpočtu : vážená neprůzvučnost (index vzduch. neprůzvučnosti)  
 Korekce k : 0,0 dB

Zadané vrstvy konstrukce (od chráněné místnosti):

číslo	Název	D [m]	Ro [kg/m <sup>3</sup> ]	c [m/s]	eta [-]	Ed [MPa]/alfa[-]
1	Železobeton 1	0,2000	2300,0	3162	0,080	-----

**TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ:**

Kmitočet	Neprůzv.	Ref. křivka	Rozdíl
----------	----------	-------------	--------

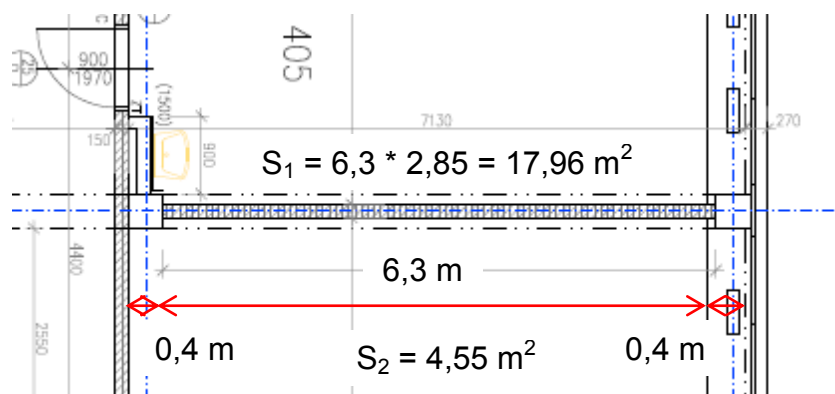
f[Hz]	R[dB]	Rref[dB]	deltaR[dB]
100	35,7	36	0,3
125	36,0	39	3,0
160	39,3	42	2,7
200	42,7	45	2,3
250	45,8	48	2,2
315	47,8	51	3,2
400	49,8	54	4,2
500	51,8	55	3,2
630	53,8	56	2,2
800	55,8	57	1,2
1000	57,8	58	0,2
1250	59,8	59	-----
1600	61,8	59	-----
2000	63,8	59	-----
2500	65,8	59	-----
3150	67,8	59	-----
Součet:			24,6

Vážená neprůzvučnost (laboratorní)  $R_w$  : **55 dB**  
 Faktor přizpůsobení spektru C : -1 dB  
 Faktor přizpůsobení spektru C, tr : -6 dB

Zápis dle ČSN EN ISO 717-1:  $R_w(C; C_{tr}) = 55(-1; -6)$  dB



### 8.3.4 Stěna 11,5 AKU v rámu skeletu



Obrázek 151 - Schéma počítané situace. Zdroj [18].

## TEORETICKÝ VÝPOČET VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

dle J. Čechura: Stavební fyzika 10, ČVUT 1997 a ČSN EN ISO 717-1 a ČSN EN ISO 717-2 (1998)

### NEPrůzvučnost 2005

Název úlohy : stěna 115 AKU - složená kce  
Zpracovatel : Pavel Oravec  
Zakázka : Disertační práce  
Datum : 8. 8. 2011

### KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:

#### Základní parametry úlohy:

Typ konstrukce : jednoduchá jednovrstvá  
Typ výpočtu : vážená neprůzvučnost (index vzduch. neprůzvučnosti)  
Korekce k : 0,0 dB

Konstrukce je součástí složené konstrukce.

Výsledky pro celou složenou konstrukci jsou uvedeny na závěr výpisu.

Plocha konstrukce : 17,96 m<sup>2</sup>

### TISK ZNÁMÉ VÁŽENÉ NEPRŮZVUČNOSTI:

**Vážená neprůzvučnost (laboratorní)  $R_w$  : 43 dB**

Vzhledem k tomu, že nejsou známy jednotlivé neprůzvučnosti, nelze určit faktory přizpůsobení spektru C a Ctr.

STOP, NEPrůzvučnost 2005

## TEORETICKÝ VÝPOČET VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

dle J. Čechura: Stavební fyzika 10, ČVUT 1997 a ČSN EN ISO 717-1 a ČSN EN ISO 717-2 (1998)

### Neprůzvučnost 2005

Název úlohy : beton - složená kce  
Zpracovatel : Pavel Oravec  
Zakázka : Disertační práce  
Datum : 8. 8. 2011

**KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:**Základní parametry úlohy:

Typ konstrukce : jednoduchá jednovrstvá  
 Typ výpočtu : vážená neprůzvučnost (index vzduch. neprůzvučnosti)  
 Korekce k : 0,0 dB

Konstrukce je součástí složené konstrukce.

Výsledky pro celou složenou konstrukci jsou uvedeny na závěr výpisu.

Plocha konstrukce : 4,55 m<sup>2</sup>

**TISK ZNÁMÉ VÁŽENÉ NEPRŮZVUČNOSTI:**

**Vážená neprůzvučnost (laboratorní)  $R_w$  : 62 dB**

Vzhledem k tomu, že nejsou známy jednotlivé neprůzvučnosti, nelze určit faktory přizpůsobení spektru C a Ctr.

STOP, Neprůzvučnost 2005

**TEORETICKÝ VÝPOČET VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ**

dle J. Čechura: Stavební fyzika 10, ČVUT 1997 a ČSN EN ISO 717-1 a ČSN EN ISO 717-2 (1998)

**Neprůzvučnost 2005**

Název úlohy : Složená konstrukce PTH AKU v betonovém rámu skeletu  
 Zpracovatel : Pavel Oravec  
 Zakázka : Disertační práce  
 Datum : 8.8.2011

**KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:**Základní parametry úlohy:

Typ konstrukce : složená (kombinovaná)

**Jednotlivé dílčí konstrukce (celkem 2):**

Pořad.č.kce	Název	Plocha [m <sup>2</sup> ]
8	stěna 115 AKU - slo	17,96
9	beton - složená kce	4,55

Skladby pro jednotlivé dílčí konstrukce byly uvedeny výše.

Typ výpočtu : vážená neprůzvučnost (index vzduch. neprůzvučnosti)  
 Průměrná korekce k : 0,0 dB

**TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ:**

Vzhledem k tomu, že pro jednu nebo více dílčích konstrukcí nebyly známy neprůzvučnosti (stupně vzduch. neprůzvučnosti), je výsledkem výpočtu pouze přibližná vážená neprůzvučnost složené konstrukce.

**Vážená neprůzvučnost (laboratorní)  $R_w$  : 44 dB**

Vzhledem k tomu, že nejsou známy jednotlivé neprůzvučnosti, nelze určit faktory přizpůsobení spektru C a Ctr.

STOP, NEPrůzvučnost 2005

**8.3.5 Stěna 11,5 P+D v rámu skeletu****TEORETICKÝ VÝPOČET VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ**

dle J. Čechura: Stavební fyzika 10, ČVUT 1997 a ČSN EN ISO 717-1 a ČSN EN ISO 717-2 (1998)

**Neprůzvučnost 2005**

Název úlohy : stěna P+D-složená kce  
 Zpracovatel : Pavel Oravec  
 Zakázka : Disertační práce  
 Datum : 8. 8. 2011

**KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:**Základní parametry úlohy:

Typ konstrukce : jednoduchá jednovrstvá  
 Typ výpočtu : vážená neprůzvučnost (index vzduch. neprůzvučnosti)  
 Korekce k : 0,0 dB

Konstrukce je součástí složené konstrukce.

Výsledky pro celou složenou konstrukci jsou uvedeny na závěr výpisu.

Plocha konstrukce : 17,96 m<sup>2</sup>

**TISK ZNÁMÉ VÁŽENÉ NEPRŮZVUČNOSTI:**

**Vážená neprůzvučnost (laboratorní)  $R_w$  : 40 dB**

Vzhledem k tomu, že nejsou známy jednotlivé neprůzvučnosti, nelze určit faktory přizpůsobení spektru C a Ctr.

STOP, NEPrůzvučnost 2005

**TEORETICKÝ VÝPOČET VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ**

dle J. Čechura: Stavební fyzika 10, ČVUT 1997 a ČSN EN ISO 717-1 a ČSN EN ISO 717-2 (1998)

**Neprůzvučnost 2005**

Název úlohy : beton-složená kce  
 Zpracovatel : Pavel Oravec  
 Zakázka : Disertační práce  
 Datum : 8.8.2011

**KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:**Základní parametry úlohy:

Typ konstrukce : jednoduchá jednovrstvá  
 Typ výpočtu : vážená neprůzvučnost (index vzduch. neprůzvučnosti)  
 Korekce k : 0,0 dB

Konstrukce je součástí složené konstrukce.

Výsledky pro celou složenou konstrukci jsou uvedeny na závěr výpisu.

Plocha konstrukce : 4,55 m<sup>2</sup>

**TISK ZNÁMÉ VÁŽENÉ NEPRŮZVUČNOSTI:**

**Vážená neprůzvučnost (laboratorní)  $R_w$  : 62 dB**

Vzhledem k tomu, že nejsou známy jednotlivé neprůzvučnosti, nelze určit faktory přizpůsobení spektru C a Ctr.

STOP, NEPrůzvučnost 2005

**TEORETICKÝ VÝPOČET VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ**

dle J. Čechura: Stavební fyzika 10, ČVUT 1997 a ČSN EN ISO 717-1 a ČSN EN ISO 717-2 (1998)

**Neprůzvučnost 2005**

Název úlohy : Složená konstrukce  
Zpracovatel : Pavel Oravec  
Zakázka : Disertační práce  
Datum : 8. 8. 2011

**KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT:**Základní parametry úlohy:

Typ konstrukce : složená (kombinovaná)

**Jednotlivé dílčí konstrukce (celkem 2):**

Pořad.č.kce	Název	Plocha [m <sup>2</sup> ]
1	stěna PD-složená kce	17,96
2	beton-složená kce	4,55

Skladby pro jednotlivé dílčí konstrukce byly uvedeny výše.

Typ výpočtu : vážená neprůzvučnost (index vzduch. neprůzvučnosti)  
Průměrná korekce k : 0,0 dB

**TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ:**

Vzhledem k tomu, že pro jednu nebo více dílčích konstrukcí nebyly známy neprůzvučnosti (stupně vzduch. neprůzvučnosti), je výsledkem výpočtu pouze přibližná vážená neprůzvučnost složené konstrukce.

**Vážená neprůzvučnost (laboratorní)  $R_w$  : 41 dB**

Vzhledem k tomu, že nejsou známy jednotlivé neprůzvučnosti, nelze určit faktory přizpůsobení spektru C a Ctr.

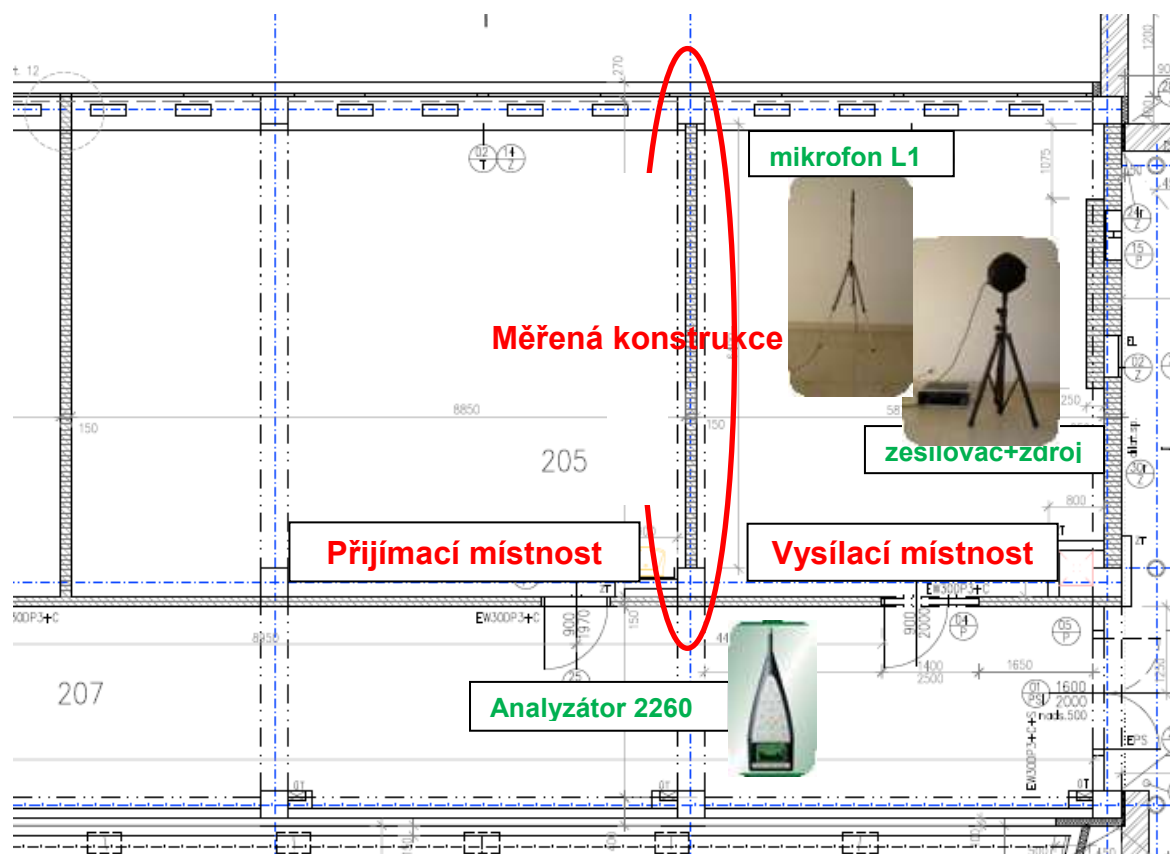
STOP, Neprůzvučnost 2005

## 8.4 Metodika měření vzduchové neprůzvučnosti se zařízením Brüel & Kjær

V následující kapitole je zpracován postup pro jednokanálové měření (jedním mikrofonom). Analyzátor Brüel & Kjær 2260 umožňuje i měření na dvou kanálech (za pomoci dvou mikrofونů), které je operativnější a rychlejší.

### 8.4.1 Rozmístění přístrojů

Úkol: máme změřit vzduchovou neprůzvučnost označené příčky - *Obrázek 152* mezi místnostmi v budově. Při měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi zvolíme menší z obou místností jako vysílací místnost a větší jako přijímací místnost. Příklad situace - *Obrázek 152*. Do vysílací místnosti umístíme zesilovač pro všesměrový zdroj (soustava dvanácti reproduktorů) a mikrofون pro měření hladiny hluku v místnosti zdroje - L1.



Obrázek 152 - Znázornění sestavení přístrojů pro měření hladiny hluku ve vysílací místnosti L1.

Při rozmísťování přístrojů dbáme na vzájemné rozestupy přístrojů od sebe a rovněž na správné vzdálenosti od okolních konstrukcí a zařízení podle [12].

Umístění analyzátoru mimo měřenou místnost má výhodu ochrany obsluhy před účinky nadměrného hluku při vybudování měřeného prostoru. Nevýhodou je kabelové vedení skrz dveřní otvory - *Obrázek 158*.

### 8.4.2 Zapojení přístrojů

Propojení analyzátoru 2260 (Obrázek 153 - konektor vlevo) se zesilovačem Power Amplifier 2716 (Obrázek 154 konektor vlevo) je zajištěno tenkým kabelem s nacvakávacími koncovkami.



Obrázek 153 - Zapojení do analyzátoru.



Obrázek 154 - Zapojení do zesilovače.

Dále je zapotřebí zajistit propojení zesilovače Power Amplifier 2716 (Obrázek 154 modrý bajonet vpravo) se zdrojem zvuku Omni Power 4296 (Obrázek 156) nejtlustším kabelem s bajonetovými koncovkami. Na předním panelu zesilovače nastavíme intenzitu signálu - otáčením ovladačů doprava signál zesílujeme. Vhodné je nabudit prostor při měření na co největší hladinu, ovšem prostor nesmí být přebuzený (sledujeme pokyny na analyzátoru). Zesilovač Power Amplifier 2716 disponuje dvěma kanály (proto dva ovladače), při měřeních stavební akustiky však využíváme jeden výstupní signál do jednoho zdroje.



Obrázek 155 - Zapojení zesilovače do zdroje.



Obrázek 156 - Regulace intenzity signálu.

Zesilovač vyžaduje napájecí napětí 230 V. Při měřeních se osvědčilo ukládat jej co nejbližší k zásuvce (délka přívodního kabelu jen cca 1 m) v místnostech, kde je zapotřebí zdroj zvuku.

Zbývá propojit mikrofón s analyzátozem Obrázek 157. Koncovky kabelů jsou opatřeny červenou značkou (puntíkem) - červené značky musejí být při nasouvání konektorů naproti sobě.

Pro životnost kabelů je mimořádně důležité věnovat zvýšenou pozornost prostupům kabelů přes dveře a vést je skrz co největší štěrbinu, aby nedošlo k jejich poškození (tzv. přecvaknutí)! Distance pod prahem nebývají největší, mnohdy je vhodnější postranní vedení - Obrázek 158.






Obrázek 157 - Zapojení mikrofónu do analyzátoru.



Obrázek 158 - Vedení kabelů vyžaduje zvýšenou opatrnost.

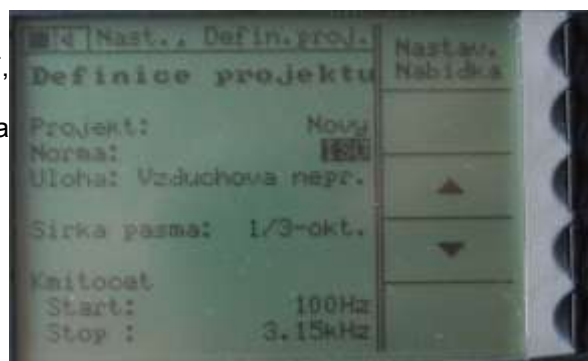
### 8.4.3 Ovládání a nastavení analyzátoru 2260 pro měření vzduchové neprůzvučnosti

Tlačítkem  zapneme analyzátor. Pokud není vybaven nabitými bateriemi (6 × 1,5 V), vyžaduje napájení 230 V - délka kabelu cca 2 m - čemuž je nutno přizpůsobit pozici analyzátoru nebo použít prodlužovacího kabelu. Běžící aplikace musí být stavební akustika - případnou změnu oproti základní analýze zvuku provedeme v menu dostupném přes tlačítko .

Nastavení úlohy provedeme v menu dostupném stiskem tlačítka . To roluje 10 dialogových oken, kde je nutno provést nastavení. Optimální nastavení pro úlohu vzduchové neprůzvučnosti reprezentují odkazy Obrázek 159 až Obrázek 169.

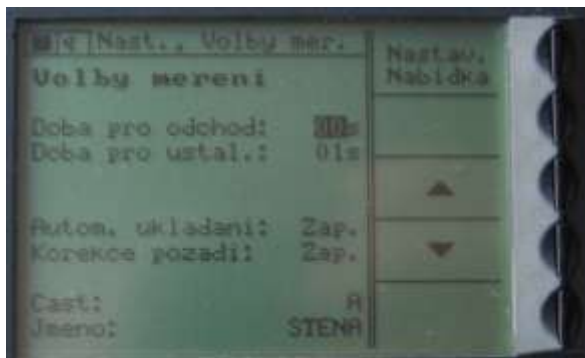
#### Definice projektu

Projekt: Nový  
 Norma: ISO, ASTM, SS, DIN, NEN, None, NBE, NF, UNI, Sia, BS 6800,  
 Úloha: **Vzduchová nepr.**, Doba dozvuku, Krocejová nepr., Mer. pred. fasad  
 Sírka pásma: 1/3-okt., 1/1-okt.  
 Kmitocet: 100–3150 Hz;  
 možno volit i rozšířený 50–10000 Hz



Obrázek 159 - Nastavení definice projektu.

#### Volby měření



Obrázek 160 - Nastavení volby měření.

Doba pro odchod: 00s (Umožňuje obsluze opustit místnost před spuštěním zdroje.)

Doba pro ustal.: 01s (Umožňuje stabilizovat pole před zahájením měření.)

Aut. ukládání: Zap. (Měření se po dokončení ukládá automaticky. První měření je však nutno uložit ručně)

Korekce pozadí: Zap. (Průměrné spektrum L2 je korigováno pomocí průměrného spektra pozadí měřeného v B2.)

Cast: A (Lze nastavit písmeno A–Z.)

Jmeno: STENA (Každou část lze pojmenovat – max. 7 znaků.)



**Namerena hlad.**

Typ merení: **Jeden kan.**, Dva kan. (Měření za pomoci jednoho, nebo dvou mikrofonů současně pro snímání L1 a L2.)

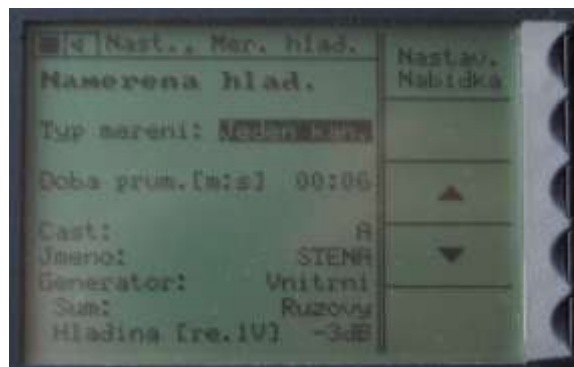
Doba prům. **6s** (Měla by být podle normy  $\geq 6$  s.)

Cast: A, Jmeno: Stena (Lze měnit nastavení pro části A – Z.)

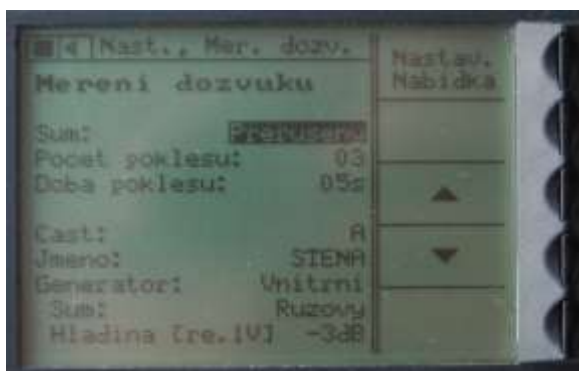
Generator: **Vnitřní** (Funkce „Vyp“ se použije pro měření s využitím dopravního hluku.)

Sum: **Ruzovy**, Bily

Hladina: -3 dB (Referenční je 0 dB)



Obrázek 161 - Nastavení měřené hladiny.



Obrázek 162 - Nastavení měření dozvuku.

**Mereni dozvuku**

Sum: **Preruseny**, Impuls (Přerušovaný šum bude vyvolán generátorem, Impuls je nutno vyvolat výstřelem z pistole v prostoru – Schroderova metoda).

Pro Impuls je nastavení menu jiné.

Sum: **Ruzovy**, Bily (Bílý šum je náhodný signál s plochým výkonovým spektrem v definovaném kmitočtovém rozsahu. Růžový šum je pak signál, kde je výkon přímo úměrný převrácené hodnotě kmitočtu.)

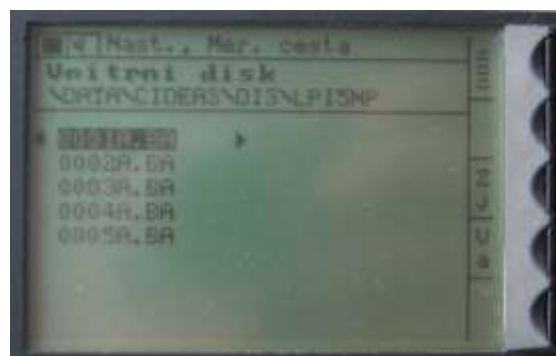
**Měřicí cesta**

Nutno nadefinovat cestu, kam se na vnitřní paměť přístroje uloží měření v uživatelsky definovaném adresářovém uspořádání.

Doporučení: založit složku objektu. Jednotlivé úlohy se vkládají jako soubory s příponou .ba pod sebe podle logiky – viz *Obrázek 163*.

U rozsáhlejších měření je vhodné si poznamenat číslo úlohy spárované např. s číslem místnosti.

Omezení: Návy složek max. 8 znaků bez diakritiky.



Obrázek 163 - Nastavení měřicí cesty (ukládání).





Obrázek 164 - Nastavení vstupů.

### Vstup

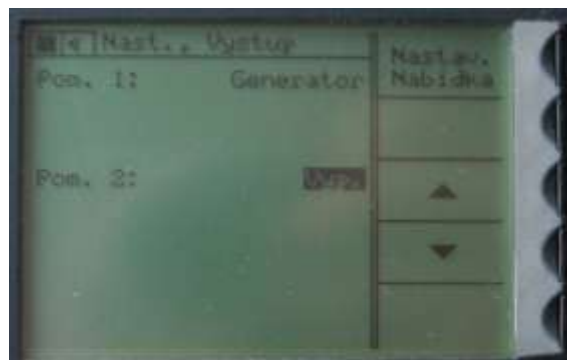
L1, L2, B2, T2: **Mik. kan.1**, Mik. kan.2, AC kan.1

Při dvoukanálovém měření nadefinujeme, na kterém kanále je měřena L1 a na kterém L2, B2, T2. Osvědčila se metoda tlesknutí pomocníkem u zvoleného mikrofónu pro vyloučení záměny kanálů.

### Výstup

Pom. 1: Generator (K tomuto výstupu je připojen stále – nelze měnit.)

Pom. 2: **Vyp.**, Mik. Kan. 1 (Pro kontrolní poslech na sluchátka.)



Obrázek 165 - Nastavení výstupů.



Obrázek 166 - Nastavení tisku.

### Tisk/výstup

Typ: B&K 2322, **Tab. procesor**, IBMPro

Výstupy tohoto typu se prakticky nepoužívají.

### Komunikace S PC

Přenos. rychlost: **9600** (Osvědčilo se nastavení rychlosti na hodnotu 9600.)



Obrázek 167 - Nastavení komunikace s PC.



Obrázek 168 - Nastavení úspory energie.

### Úspora energie

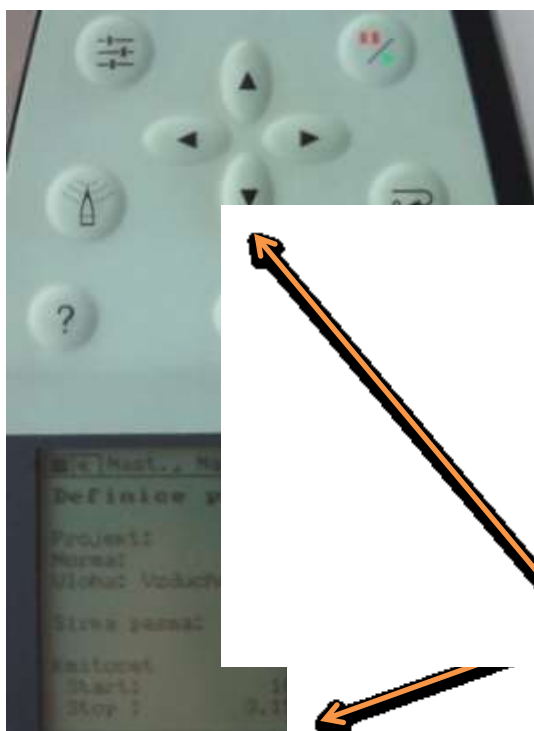
Opatření k úspoře kapacity baterie. Při nečinnosti přístroje dojde k aktivaci po zvolené době. Neaktivuje se v průběhu měření ani při přenosu dat.

### Nastavení displeje

Optimalizace podmínek pohledu parametrem „nastavení displeje“ v rozsahu 1 až 32. Optimální nastavení je okolo hodnoty 26.



Obrázek 169 - Nastavení displeje.




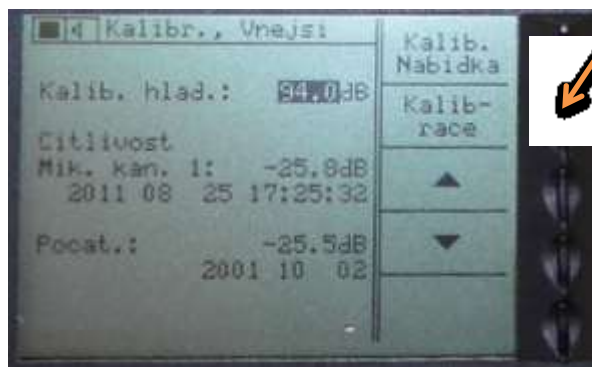
Obrázek 170 - Použití funkčních tlačítek.

Po pravé straně displeje se nachází 5 funkčních tlačítek, kterými lze ovládat pokyny na displeji – viz Obrázek 170.

Pokud je pokynů více, než je funkčních tlačítek (více než 5), zobrazí se u spodního pokynu malá šipka ve směru dolů ▼. Do nižší úrovně se dostaneme stiskem tlačítka znázorňujícím šipku dolů na křížovém ovladači zvukoměru. Toto ovládání je velmi nelogické, ale vzhledem k častému používání při práci se zvukoměrem je nutno mu rychle přivyknout.

#### 8.4.4 Kalibrace

Před započítím měření je nutno kalibrovat mikrofon akustickým kalibrátorem. Do kalibrace vstoupíme tlačítkem .



Obrázek 171 - Kalibrace.

Po stisku funkčního tlačítka kalibrace respektujeme pokyny na displeji. Zvukoměr nejdříve provede vnitřní kalibraci, a poté požádá obsluhu o nasunutí kalibrátoru na mikrofon - Obrázek 172, Obrázek 173.



Obrázek 172 - Pokyny při vnější kalibraci.





Obrázek 173 - Nasazení kalibrátoru na mikrofon.

Poznámka: Při dvoukanálovém měření (dvěma mikrofony) je nutno zkalibrovat oba mikrofony ve vyvolaném pořadí.

Kalibrační hladina je 94 dB.

### 8.4.5 Měření L1

Do módu pro měření vstoupíme tlačítkem . Při rozestavění přístrojů podle *Obrázek 152* začneme měřením hladiny hluku ve vysílací místnosti L1. K tomu je zapotřebí nastavit parametr „Funkce:“ na hodnotu „L1“ pomocí funkčního tlačítka. Toto velmi používané funkční tlačítko je neprakticky skryto níže v „roletovém menu“ - je zapotřebí použít křížový ovladač.


Stiskem  spustíme měření. O průběhu měření jsme informováni sloupcovou grafikou - *Obrázek 174*. Po ukončení prvního měření je zapotřebí správně zpracovat pokyn uložení - *Obrázek 175*.

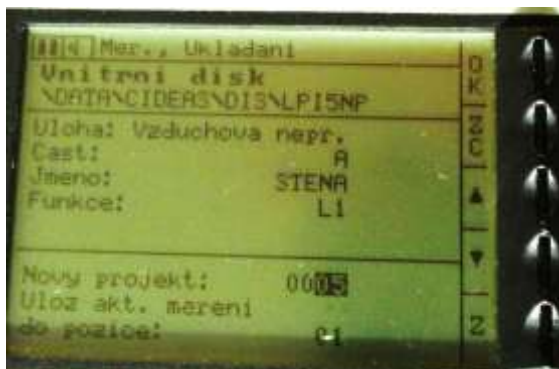


Obrázek 174 - Průběh měření hladiny.



Obrázek 175 - Hlášení po prvním měření.


Pro uložení stiskneme klávesu . Zkontrolujeme (případně změníme) pozici ukládání v rámci adresářové struktury do vnitřní paměti přístroje *Obrázek 176*. Nový projekt by měl začínat úlohou číslo 0001, aktuální měření se uloží do pozice 01.



Obrázek 176 - Nasměrování ukládání úlohy.

L1	L2	B2	T2
02			

Obrázek 177 - Přehled naměřených hodnot.

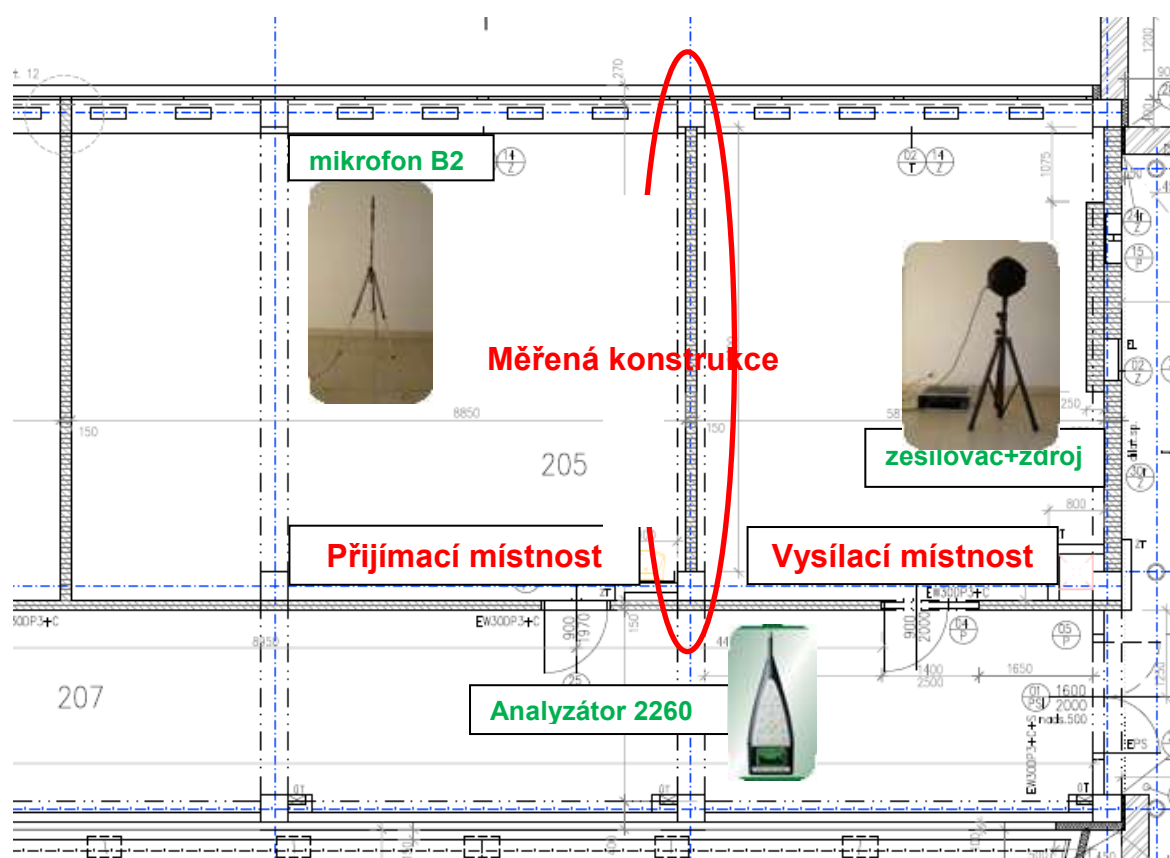
Pro kontrolu správnosti ukládání a směrování měřených dat se osvědčilo zkontrolovat přehled - *Obrázek 177*, do něhož se dostaneme postupným stiskem funkčních tlačítek „Zobraz nabidku“ - „Prehled“. Při kontrole hodnot ve sloupci T2 je nutno skrýt sloupec s textem přiřazení funkčních tlačítek pomocí tlačítka . Na *Obrázek 177* je patrné v pravé části minimalizování tohoto sloupce. Zpět do měřicího módu se dostaneme stiskem funkčních kláves „Zobraz nabidku“ - „Spektrum“.

Postupně provedeme nejméně 5 měření L1 s různými polohami mikrofonu i zdroje zvuku. Dbáme na dodržení minimálních odstupových vzdáleností:


- 0,7 m mezi polohami mikrofonu,
- 0,7 m mezi kteroukoli polohou mikrofonu a ohraničujícími plochami místnosti nebo difuzory,
- 1 m mezi kteroukoli polohou mikrofonu a zdrojem zvuku.

#### 8.4.6 Měření B2

Pro měření hladiny hluku pozadí v přijímací místnosti přesuneme mikrofon do přijímací místnosti a na zvukoměru změníme funkci na „B2“ (pomocí funkčních kláves).



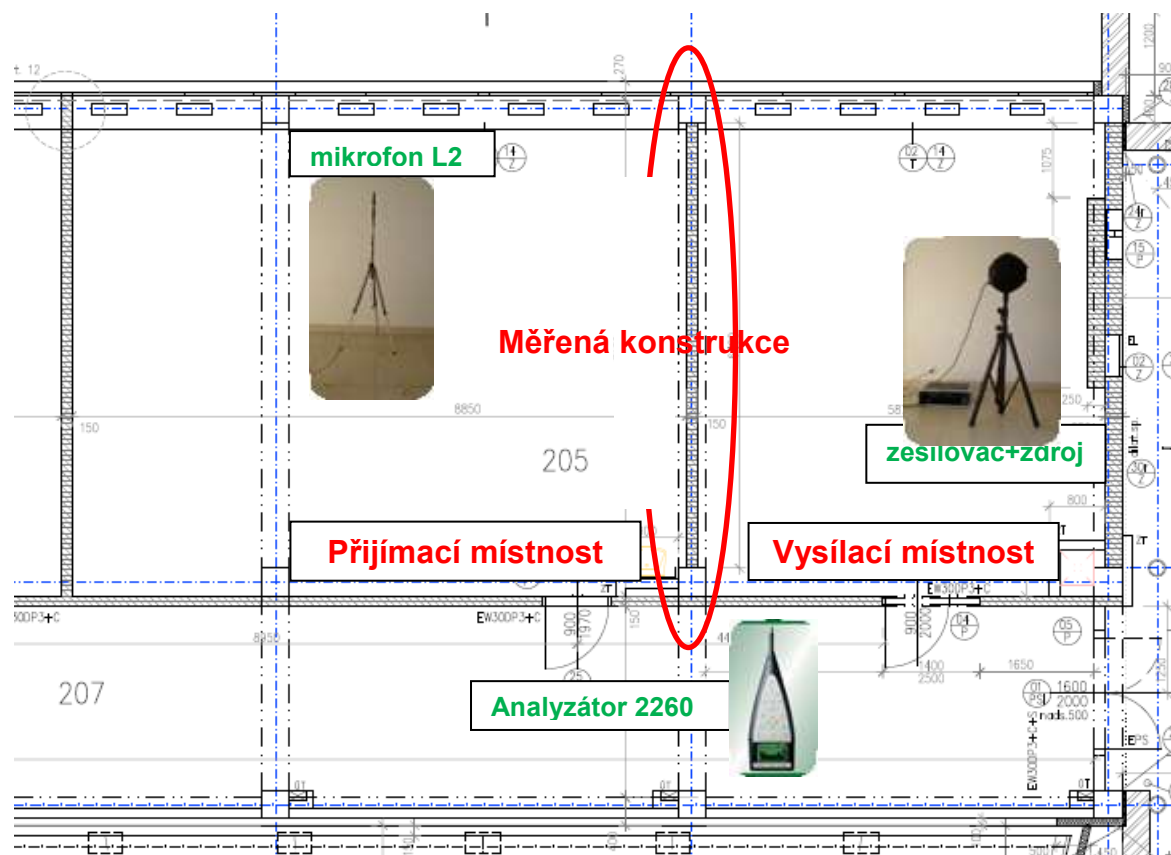
Obrázek 178 - Znáznornění sestavení přístrojů pro měření hladiny hluku pozadí B2.

Stiskem  je snímána pouze hladina hluku (pozadí) v místnosti příjmu. Zdroj se při měření B2 neuvede v činnost. Opět změříme funkci B2 alespoň pro 5 různých poloh mikrofonu s respektováním minimálních odstupů od okolních konstrukcí. V přehledu naměřených hodnot (Obrázek 177) sledujeme plnění sloupce B2.




### 8.4.7 Měření L2

Pro měření hladiny hluku v přijímací místnosti ponecháme mikrofon v přijímací místnosti a na zvukoměru změníme funkci na „L2“ (pomocí funkčních kláves).

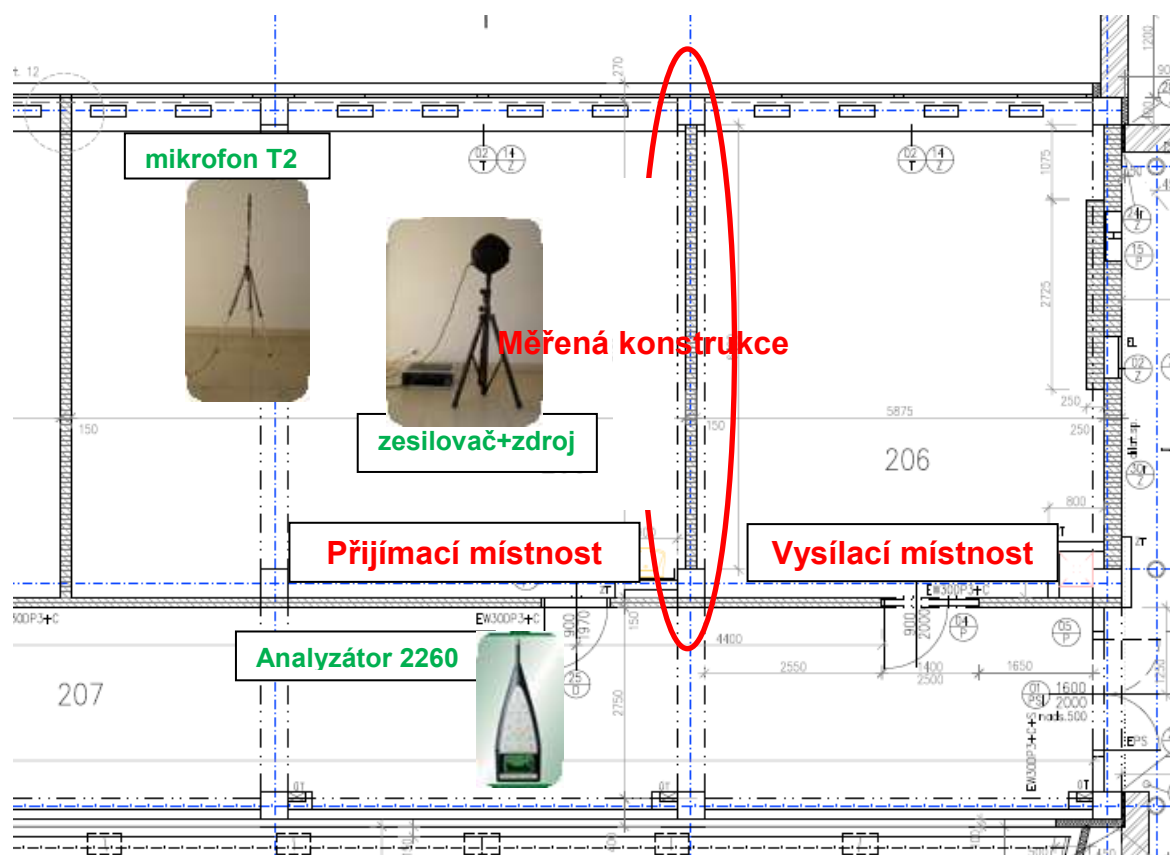


Obrázek 179 - Znázornění sestavení přístrojů pro měření hladiny hluku v přijímací místnosti L2.


Stiskem  je snímána hladina hluku v přijímací místnosti. Zdroj umístěný ve vysílací místnosti se automaticky uvede v činnost. Měření provedeme opět alespoň pro 5 různých poloh mikrofonu. Polohu zdroje ve vysílací místnosti rovněž měníme.

### 8.4.8 Měření T2

Pro měření doby dozvuku T2 v přijímací místnosti ponecháme mikrofon v přijímací místnosti, přeneseme zesilovač a zdroj do přijímací místnosti a na zvukoměru změníme funkci na „T2“ (pomocí funkčních kláves).



Obrázek 180 - Znáznornění sestavení přístrojů pro měření doby dozvuku v přijímací místnosti T2.


Stiskem  je vyvolán proces měření vedoucí k výpočtu doby dozvuku v přijímací místnosti. Zdroj umístěný v přijímací místnosti se při každém měření automaticky uvede v činnost třikrát po sobě v závislosti na nastavení - Obrázek 162. Měření provedeme opět alespoň pro 5 různých poloh mikrofonu. Polohu zdroje rovněž měníme.

Po naměření doby dozvuku T2 je možné přímo ve zvukoměru již zjistit hodnotu  $R'w$  přes funkční klávesy „Zobraz nabídku“ - „Výsledek“ - Obrázek 181. Před tím musíme doplnit platný objem přijímací místnosti a plochu měřené konstrukce pomocí funkční klávesy „Nastav.výsledku“, neboť zvukoměr počítá s plochou a objemem naposledy změněné úlohy.



Obrázek 181 - Zobrazení výsledku  $R'w$ .

## 9 OSOBNÍ PROFIL

<b>Jméno</b>	Pavel Oravec	
<b>Kontakt</b>	<a href="mailto:oravec@seznam.cz">oravec@seznam.cz</a> , <a href="http://www.atop.xf.cz">http://www.atop.xf.cz</a>	
<b>Narozen</b>	31.05.1981 v Jeseníku	
<b>Vzdělání</b>		
1995-1999	Střední odborná škola strojírenská a stavební, Jeseník. Ukončeno maturitní zkouškou s hodnocením „prospěl s vyznamenáním“ v oboru Pozemní stavitelství.	
1999-2004	Ing. studium; Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, obor: Pozemní stavitelství a architektura.	
2004-2011	Ph.D. studium; Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, obor: Teorie konstrukcí.	
2005-2006	Ing. Paed IGIP. studium; Pedagogická kvalifikace uznatelná v evropských zemích. Vysoká škola báňská-TU Ostrava, Katedra učitelství odborných předmětů.	
<b>Znalosti</b>		
Práce na PC	MS Office, FrontPage, AutoCAD, ArchiCAD, Photoshop, DataCAD, Nexis.	
Řidičský průkaz	Skupiny „A, B, C, T“- velmi dobrá řidičská praxe.	
Ostatní	Měření vzduchotěsnosti obálky budovy - BlowerDoor test; diagnostika vzduchové a kročejové neprůzvučnosti staveb.	
<b>Zaměření</b>	Energetická efektivita staveb, životnost a trvanlivost materiálů a jejich aplikace, stavební akustika.	
<b>Pedagogická praxe</b>	Od 2004 na Fakultě stavební, Vysoké škole báňské-TU Ostrava.	
Vyučované předměty	Semináře: Pozemní stavitelství I., II., III., Prostředí staveb, Počítačová podpora projektování - ArchiCAD I., ArchiCAD II. Přednášky: Pozemní stavitelství I. - kombinované studium, Konstrukce pozemních staveb I. (prezenční i kombinované studium), Pozemní a průmyslové stavby I. (prezenční i kombinované studium), Stavebnictví - výuka pro HGF Most.	
Zahraniční stáže	Politechnika Opole, TU Žilina; Opakovaná výuka v rámci Erasmus na TU Košice, STU Bratislava.	
Odborné přednášky	Vzdělávací semináře pro členy ČKAIT, MSDK.	
<b>Publikace</b>	Celkem 60 publikací, 30 z oblasti akustiky (10 × článek v odborném periodiku - časopise, 15 × příspěvek ve sborníku - národním, 29 × příspěvek ve sborníku - mezinárodním, 1 × odborná kniha - monografie).	
<b>Průmyslová ochrana</b>	Původce Užitého vzoru UV 18847-2008, Podány 3 Užité vzory - 2011.	
<b>Komerční činnost</b>	Od roku 1999 vlastní ateliér ATOP CZ - stavební projekce a vizualizace, návrhy kuchyní, dozory investora; odborné poradenství při nákupu ojetých vozidel, autodoprava a servis.	
<b>Sportovní aktivity</b>	Outdoorové - cykloturistika, vysokohorská turistika, běžecké a sjezdové lyžování.	
<b>Záliby</b>	Automobilový průmysl, strojírenství, cestování a poznávání.	